

TUGAS AKHIR - TM 141585

PENGEMBANGAN *HYDRO MAGNETO ELECTRIC  
SHOCK ABSORBER* DAN IMPLEMENTASINYA PADA  
KENDARAAN ANGKUT

FARIS ABIYU ABULKHOIR  
NRP 2113 100 097

Dosen Pembimbing  
Dr. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR – TM141585

***PENGEMBANGAN HYDRO MAGNETO ELECTRIC SHOCK  
ABSORBER DAN IMPLEMENTASINYA PADA  
KENDARAAN ANGKUT***

FARIS ABIYYU ABULKHOIR

NRP. 2113100097

Dosen Pembimbing:

Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.

PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



---

FINAL PROJECT – TM141585

***DEVELOPMENT OF HYDRO MAGNETO ELECTRIC  
SHOCK ABSORBER AND IMPLEMENTATION ON THE  
TRUCK VEHICLE***

FARIS ABIYYU ABULKHOIR  
NRP. 2113100097

Advisory Lecturer:  
Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.

BACHELOR PROGRAM  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017

# **PENGEMBANGAN HYDRO MAGNETO ELECTRIC SHOCK ABSORBER DAN IMPLEMENTASINYA PADA KENDARAAN ANGKUT**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :**

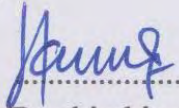
**FARIS ABIYYU ABULKHOIR**

**NRP. 2113 100 097**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :**

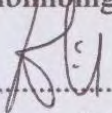
1. Dr Eng. Harus Laksana Guntut ST., M.Eng.

NIP. 197505111999031001

  
(Pembimbing)

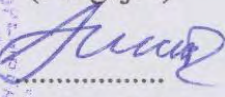
2. Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT

NIP. 197004121997032003

  
(Penguji I)

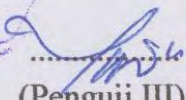
3. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.

NIP. 195106051978031002

  
(Penguji II)

4. Achmad Syaifudin, ST., M.Eng., Ph.D.

NIP. 197909262005011001

  
(Penguji III)

**SURABAYA**

**JULI, 2017**

# ***PENGEMBANGAN HYDRO MAGNETO ELECTRIC SHOCK ABSORBER DAN IMPLEMENTASINYA PADA KENDARAAN ANGKUT***

Nama Mahasiswa : Faris Abiyyu Abulkhoir  
NRP : 2113100097  
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Harus Laksana Guntur ST., M.Eng.

## **ABSTRAK**

*Shock absorber merupakan sebuah sistem peredam yang ditemukan pada kendaraan bermotor baik itu roda dua maupun roda empat. Pada tugas akhir kali ini, juga dilakukan pengembangan serta implementasi dari RSA itu sendiri. Pengembangan dan implementasi yang dilakukan adalah dengan mengembangkan HMERSA (Hydro Magneto Electric Shock Absorber).*

*Pengembangan yang dilakukan meliputi penyempurnaan alat sehingga meminimalisir kerugian-kerugian atau kehilangan energi mekanik dan meningkatkan energi listrik. Dari pengembangan ini diharapkan terdapat pengurangan pada losses energi. Sehingga energi listrik bangkitan dapat dihasilkan sesuai dengan hasil dari simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Dari penelitian ini juga dihasilkan respon percepatan terhadap kendaraan. Dari respon percepatan tersebut dapat diketahui gaya redam yang dihasilkan dengan respon percepatannya pada sistem HMERSA. Hasil dari respon percepatan tersebut akan dibandingkan dengan hasil simulasi. Dari hasil simulasi didapat bahwa semakin tinggi percepatan yang dilakukan akan semakin besar gaya redam yang dihasilkan. Pada penelitian kali ini akan dibandingkan hasil simulasi dengan hasil yang di dapat dari eksperimen ini. Hasil dari implementasi yang dilakukan akan*

*dituangkan dalam data-data yang akan dituliskan pada laporan tugas akhir kali ini. Pengembangan dan implementasi HMERSA dilakukan dengan berbagai serangkaian metode yang diawali dengan studi literatur, menentukan data parameter, pemodelan dinamis, analisa karakteristik gaya redam, perancangan HMERSA, pembuatan HMERSA, implementasi pada kendaraan, pengujian serta pengambilan data dan yang terakhir pembuatan analisa data dan laporan. Dari pengambilan data tersebut maka didapat respon percepatan serta energi bangkitan dari sistem HMERSA.*

*Dari penelitian tersebut didapat hasil respon percepatan serta energi bangkitan pada sistem HMERSA dengan pengaruh variasi kecepatan serta ketinggian bump. Penelitian ini membuktikan bahkan semakin besar kecepatan kendaraan berakibat pada naiknya respon percepatan yang terjadi pada suspensi HMERSA. Penelitian ini juga membuktikan bahwa semakin besar kecepatan kendaraan berakibat pada semakin besar energi bangkitan yang mampu dihasilkan suspensi HMERSA.*

**Kata Kunci : Regenerative Shock Absorber, Sistem Suspensi, Energi getaran**

# ***DEVELOPMENT OF HYDRO MAGNETO ELECTRIC SHOCK ABSORBER AND IMPLEMENTATION ON THE TRUCK VEHICLE***

Nama Mahasiswa : Faris Abiyyu Abulkhoir  
NRP : 2113100097  
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Harus Laksana Guntur ST., M.Eng.

## **ABSTRACT**

*Shock absorber is a system of damper found in motor vehicles both the two-wheel and four-wheeled. In this final project, also carried out the development and implementation of RSA itself. Development and implementation is done by developing HMERSA (Hydro Magneto Electric Shock Absorber).*

*The development includes refining tools to minimize losses of mechanical energy and increase electrical energy. From this development there is expected to be a reduction in energy losses. So that the generated electrical energy can be generated in accordance with the results of the simulations that have been done before. From this research also generated acceleration response to the vehicle. From the acceleration response, it can be known that the damping force produced by the acceleration response on the HMERSA system. The result of the acceleration response will be compared with the simulation result. From the simulation results obtained that the higher the acceleration performed the greater the resulting damping force. In this study we will compare the simulation results with the results obtained from this experiment.*

*The results of the implementation will be poured in the data to be written in the final report this time. The development and implementation of HMERSA is carried out by various series of methods beginning with literature study, parameter data, dynamic modeling, analysis of damping characteristics, HMERSA design,*

*HMERSA manufacture, vehicle implementation, testing and data retrieval and the last data analysis and reporting. From the data retrieval is then obtained acceleration response and energy generation of the HMERSA system.*

*From the research is obtained the result of acceleration response and energy generation in HMERSA system with the influence of variation of speed and height of bump. This study proves even greater the speed of the vehicle resulted in the increase of acceleration response that occurs in HMERSA suspension. This study also proves that the greater the density of the vehicle resulted in the greater the generation energy that can be generated HMERSA suspension.*

**Kata Kunci : Regenerative Shock Absorber, Sistem Suspensi, Energi getaran**



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur dihaturkan kehadirat Allah Subhanallahu WaTa'ala, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua penulis, Ibu Suparyati dan Bapak Suyarto yang senantiasa mendoakan, membimbing dan memberikan semua hal terbaik untuk penulis. Terimakasih karena telah menjadi seorang ibu dan bapak terbaik bagi penulis.
2. Dr. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T., Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D., Aida Annisa A.D., S.T., M.T., Moch. Solichin, S.T., M.T., dan Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis untuk Tugas Akhir ini.
4. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan semangat selama penulis di bangku perkuliahan.
5. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, terima kasih atas ilmu yang disampaikan, semoga bermanfaat kedepannya bagi diri penulis dan bagi bangsa dan negara.
6. Teman-teman Lab Vibrasi, yang telah menemani mengerjakan tugas akhir dalam 1 semester terakhir.

7. Fridam Amrulloh B, Bima Adisetya P dan Adrian Bayu B, yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir
8. Keluarga 81 Surabaya yang selalu memberikan canda dan tawa dikala sulitnya kehidupan tugas akhir.
9. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Dengan segala keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Desember 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	3
BAB 2 DASAR TEORI.....	4
2.1 Sistem Suspensi Hidrolis.....	4
<b>2.1.1 Siklus Kompresi dan Ekspansi</b> .....	5
2.2 Sistem Suspensi Regenerative.....	7
2.3 Persamaan Pada Mekanisme Hidrolik.....	16
<b>2.3.1 Persamaan Bernoulli</b> .....	16
<b>2.3.2 Konservasi Massa pada Mekanika Fluida</b> .....	17
<b>2.3.3 Head Loss</b> .....	18
2.4 Akumulator Hidrolik .....	22
2.5 Motor Hidrolik.....	24
2.6 Generator .....	25
2.7 <i>Displacement Transmibility</i> .....	28
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	30
3.1 Metode Penelitian .....	30
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian.....	32
<b>3.2.1 Tahap Studi Literatur</b> .....	32
<b>3.2.2 Data Parameter Peredam Getaran</b> .....	34
<b>3.2.3 Pemodelan Dinamis Sistem Peredam Getaran</b> .....	35
<b>3.2.4 Pemodelan Dinamis Sistem Peredam HMERSA</b> ...	37

<b>3.2.5 Analisa Gaya Redam vs Perpindahan dan Kecepatan Pada Sistem Suspensi Hidrolis</b> .....	41
<b>3.2.6 Analisa Gaya Redam vs Perpindahan dan Kecepatan Pada Sistem Suspensi HMERSA</b> .....	42
<b>3.2.7 Perancangan dan Pembuatan HMERSA</b> .....	43
<b>3.2.8 Implementasi pada Kendaraan</b> .....	45
<b>3.2.9 Pengujian dan Pengambilan Data</b> .....	46
<b>BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b> .....	48
4.1 Pemodelan Dinamis Sistem Peredam Getaran pada Seperempat Kendaraan .....	48
4.2 Analisa Gaya Redam vs Perpindahan dan Kecepatan pada Sistem Suspensi Hidrolis .....	52
4.3 Analisa Gaya Redam vs Perpindahan dan Kecepatan pada Sistem Suspensi HMERSA .....	53
4.4 Energi Bangkitan Sistem HMERSA .....	58
4.5 Perancangan Serta Pembuatan HMERSA .....	59
4.6 Implementasi pada Kendaraan .....	62
4.7 Pengujian dan Pengambilan Data .....	63
4.8 Analisa Hasil dan Laporan .....	63
<b>4.8.1 Respon Percepatan HMERSA pada Sistem <i>Unsprung</i></b> .....	64
<b>4.8.2 Respon Percepatan HMERSA pada Sistem <i>sprung</i></b> .....	66
<b>4.8.3 Respon Percepatan Relatif HMERSA</b> .....	68
<b>4.8.4 Energi Bangkitan yang Dihasilkan Sistem HMERSA</b> .....	70
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	74
5.1 Pemodelan Dinamis Sistem Peredam Getaran .....	74
5.2 Pemodelan Dinamis Sistem HMERSA .....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	76
<b>LAMPIRAN</b> .....	77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Shock Absorber</i> .....	4
Gambar 2.2 Siklus kompresi pada <i>shock absorber</i> .....	6
Gambar 2.3 Siklus ekspansi pada <i>shock absorber</i> .....	7
Gambar 2.4 Grafik karakteristik gaya redam vs kecepatan dan perpindahan .....	7
Gambar 2.5 Grafik karakteristik gaya redam dari HESA.....	8
Gambar 2.6 Skema diagram HEERS. A, B, dan C merupakan simpul dari pipa hidraulik (ditunjukkan dengan titik) .....	9
Gambar 2.7 Pengaruh perbedaan diameter dalam pipa hidroluk..	11
Gambar 2.8 Skema <i>Hydraulic Regenerative Shock Absorber</i> .....	12
Gambar 2.9 Grafik respon gaya redam terhadap waktu dengan variasi kecepatan .....	14
Gambar 2.10 Grafik respon voltase dan arus terhadap waktu dengan input <i>bump modified</i> .....	15
Gambar 2.11 Penerapan hukum Bernoulli pada sebuah pipa .....	16
Gambar 2.12 Ilustrasi untuk aliran dalam suatu kontrol volume.	17
Gambar 2.13 <i>Representative total resistance (Le/D)</i> untuk (a) pipa belokan ( <i>bend</i> ) dan siku bergelang ( <i>flanged elbow</i> ) 90° dan (b) belokan miter ( <i>miter bend</i> ) .....	21
Gambar 2.14 Compressed Gas Accumulator .....	23
Gambar 2.15 Skema RL Circuit untuk Generator .....	26
Gambar 2.16 Grafik <i>displacement transmissibility</i> .....	28
Gambar 3.1 Diagram alir penyelesaian tugas akhir .....	31
Gambar 3.2 Gambar batang piston dan lubang orifice .....	33
Gambar 3.3 Sistem suspensi HMERSA yang telah dikembangkan .....	33
Gambar 3.4 Model dinamis sistem hidrolis .....	35
Gambar 3.5 Model dinamis sistem HMERSA .....	38
Gambar 3.6 FBD untuk pasangan spur gear.....	39

Gambar 3.7 Grafik gaya redam vs perpindahan dan kecepatan pada suspensi hidrolis.....	41
Gambar 3.8 Grafik gaya redam vs perpindahan dan kecepatan pada suspensi HMERSA .....	42
Gambar 3.9 Rancangan sistem HMERSA.....	43
Gambar 3.10 Rancangan desain HMERSA pada kondisi kompresi .....	44
Gambar 3.11 Rancangan sistem HMERSA pada kondisi ekspansi .....	44
Gambar 3.12 Suspensi hidrolis dan generator yang akan dikembangkan menjadi suspensi HMERSA.....	45
Gambar 3.13 Diagram alir Eksperimen respon percepatan serta energi bangkitan pada sistem HMERSA .....	47
Gambar 4.1 Model dinamis Sistem Hidrolis pada seperempat kendaraan.....	48
Gambar 4.2 Grafik respon perpindahan (a), kecepatan (b) serta waktu (c) terhadap gaya redam pada sistem suspensi hidrolis dengan variasi frekuensi .....	51
Gambar 4.3 Grafik respon perpindahan (a), kecepatan (b) serta waktu (c) terhadap gaya redam pada sistem suspensi HMERSA dengan variasi frekuensi .....	55
Gambar 4.4 Grafik respon kecepatan (a) terhadap waktu pada sistem suspensi HMERSA dengan variasi frekuensi.....	57
Gambar 4.5 Grafik <i>voltage</i> (a), <i>power</i> (b) serta <i>current</i> (c) terhadap waktu pada sistem suspensi HMERSA dengan variasi frekuensi .....	58
Gambar 4.6 Rancangan Sistem HMERSA .....	60
Gambar 4.7 Prototype HMERSA .....	61
Gambar 4.8 Implementasi Pada Kendaraan .....	62
Gambar 4.9 Alat Ukur Pengujian .....	63
Gambar 4.10 Grafik Respon Percepatan terhadap waktu pada sistem <i>unsprung</i> .....	64

Gambar 4.11 Grafik serta data RMS respon percepatan terhadap waktu pada sistem <i>unsprung</i> .....	65
Gambar 4.12 Grafik Respon Percepatan terhadap waktu pada sistem <i>sprung</i> .....	66
Gambar 4.13 Grafik serta data RMS respon percepatan terhadap waktu pada sistem <i>sprung</i> .....	67
Gambar 4.14 Grafik respon percepatan realtif HMERSA terhadap waktu .....	68
Gambar 4.15 Grafik serta data RMS respon percepatan relatif HMERSA terhadap waktu .....	69
Gambar 4.16 Grafik energi bangkitan yang dihasilkan sistem HMERSA dengan variasi kecepatan .....	70
Gambar 4.17 Grafik energi bangkitan yang dihasilkan sistem HMERSA dengan variasi <i>bump</i> .....	72

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daya Energi Bangkitan yang dihasilkan dengan variasi amplitudo dan frekuensi .....	13
Tabel 2.2 <i>Minor Loss Coefficient</i> untuk pintu masuk pada pipa ..	19
Tabel 2.3 <i>Loss Coefficient</i> untuk kontraksi bertahap: saluran bulat dan persegi panjang .....	20
Tabel 2.4 <i>Representative dimensionless equivalent lengths (<math>L_e/D</math>)</i> untuk katup dan <i>fitting</i> .....	21
Tabel 2.5 Karakteristik untuk tipe-tipe akumulator.....	22
Tabel 3.1 Parameter Sistem Suspensi Hidrolis dan HMERSA ...	34
Tabel 3.2 Nilai gaya redam siklus ekspansi dan kompresi pada sistem suspensi hidrolis .....	41
Tabel 4.1 Parameter Sistem Suspensi Hidrolis.....	50
Tabel 4.2 Nilai gaya redam siklus ekspansi dan kompresi pada sistem suspensi hidrolis .....	52
Tabel 4.3 Parameter Sistem Suspensi HMERSA .....	53
Tabel 4.4 Nilai gaya redam siklus ekspansi dan kompresi pada sistem suspensi HMERSA.....	56
Tabel 4.5 Data RMS energi bangkitan sistem HMERSA dengan variasi kecepatan .....	71
Tabel 4.6 Data RMS energi bangkitan sistem HMERSA dengan variasi <i>bump</i> .....	73



## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Shock absorber merupakan sebuah sistem peredam yang ditemukan pada kendaraan bermotor baik itu roda dua maupun roda empat. Shock absorber memiliki manfaat sebagai peredam getaran pada sebuah kendaraan. kemampuan dalam meredam getaran ini erat kaitannya dengan kenyamanan pengendara serta performa kendaraan. Shock absorber yang telah berkembang saat ini telah memiliki gaya redam yang cukup baik. Namun, shock absorber yang telah berkembang saat ini menghasilkan energi panas yang mana energi tersebut terbuang begitu saja ke lingkungan. Perkembangan penelitian saat ini telah terfokus pada penghematan energi pada kendaraan. Menurut the official U.S. government source for fuel economy information<sup>[1]</sup>, hanya sekitar 14%-30% energi yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan dan sisanya terbuang begitu saja. Selebihnya, 68% - 72% sebagai engine losses, 4% - 6% sebagai parasitic losses, 5% - 6% sebagai drivetrain losses, 3% sebagai idle losses.

Untuk mengatasi masalah tersebut, beberapa perusahaan-perusahaan otomotif melakukan penelitian terkait dengan mekanisme kenaikan temperatur pada minyak peredam, optimasi suspension part dan desain sistem suspensi. namun penelitian ini tidaklah efisien dikarenakan ennergy getaran yang dihasilkan oleh suspensi ditransformasikan menjadi panas yang mana panas tersebut terbuang ke lingkungan secara percuma. Audi AG engineers melakukan penelitian dan pengembangan GenShock, an electrohydraulic regenerative shock absorber. Sebuah analisa dari perusahaan ini menunjukkan bahwa 1kW energy listrik dihasilkan dari 6 shock absorbers pada truk besar pada jalan bebas hambatan, yang mana hal ini dapat menggantikan generator dari truk besar tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada tugas akhir ini dilakukan pengembangan dan implementasi HMERSA pada seperempat kendaraan pada kendaraan angkut. Pengembangan dan implemtasi dari HMERSA bertujuan untuk menghasilkan energi listrik bangkitan sehingga energi panas yang dihasilkan pada sistem suspensi hidrolik tidak terbuang begitu saja. Pengembangan dilakukan dengan membuat sistem perpipaan menjadi lebih sederhana dan akurat. Sehingga, sistem HMERSA dapat mengurangi panas yang terbuang dari sistem tersebut. Dengan sistem yang lebih sederhana dan akurat diharapkan energi bangkitan yang dihasilkan akan lebih besar dari penelitian-penelitian sebelumnya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari uraian latar belakang di atas maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang menjadi pokok bahasan utama pada tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik gaya redam pada sistem shock absorber konvensional?
2. Bagaimana karakteristik gaya redam dan energi listrik bangkitan pada sistem HMERSA?
3. Seberapa besar energi listrik yang dapat dihasilkan dari pengimplementasian HMERSA pada kendaraan angkut?

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun, batasan masalah dari ruang lingkup tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Untuk simulasi, hanya menggunakan seperempat kendaraan (*quarter car*). Dan kendaraan yang digunakan adalah truk (*heavy truck*).
2. Fluida kerja pada silinder hidrolik diasumsikan *incompressible flow*.

3. Persamaan generator yang digunakan adalah persamaan generator yang telah dilinierkan.
4. Akumulator yang digunakan adalah *compressed gas accumulator*.
5. Spesifikasi daya maksimal yang dihasilkan generator adalah 100 watt.

#### **1.4 Tujuan Tugas Akhir**

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Mengembangkan prototype Hydro Magneto Electric Regenerative Shock Absorber pada kendaraan angkut.
2. Mengetahui karakteristik gaya redam dan energi listrik bangkitan pada sistem HMERSA.
3. Mengetahui seberapa besar energi listrik yang dapat dihasilkan dari pengembangan HMERSA yang telah diimplementasikan pada kendaraan angkut.

#### **1.5 Manfaat Tugas Akhir**

Selanjutnya, manfaat yang diperoleh dari tugas akhir adalah sebagai berikut:

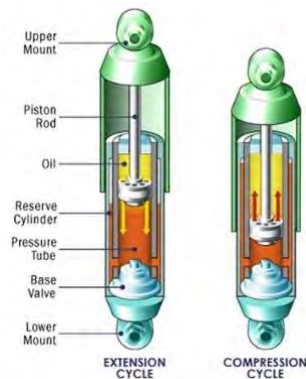
Menghasilkan energi listrik alternatif dari energi getaran terbuang pada sistem suspensi kendaraan.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Peredam Hidrolis

Sistem suspensi memainkan peran penting pada gaya vertikal pada sebuah kendaraan. Sistem suspensi memiliki beberapa kumpulan komponen tertentu yang berfungsi meredam kejutan. sistem suspensi digunakan untuk meningkatkan kenyamanan berkendara serta pengendalian berkendara. Sistem suspensi terdiri dari beberapa bagian yaitu pegas, peredam kejut, dan lengan. Jika sistem suspensi hanya dilengkapi dengan sebuah pegas saja, maka setiap kendaraan yang menghantam *bump* akan mengalami pantulan yang naik turun selama beberapa kali. Ketika tertekan oleh sebuah *bump*, sebuah sistem suspensi membutuhkan komponen untuk mendisipasi energi yang tersimpan pada pegas. *Shock absorber* atau peredam kejut adalah alat yang digunakan untuk mendisipasi energi tersebut seperti terlihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1 *Shock Absorber***

Pada sistem suspensi hidrolik menggunakan minyak sebagai fluida kerja pada silinder hidrolik. Sistem suspensi bekerja dalam dua siklus yaitu siklus kompresi dan siklus ekspansi.

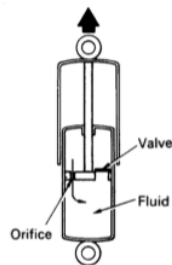
### **2.1.1 Siklus Kompresi dan Ekspansi**

Saat *shock absorber* ditekan karena gaya osilasi dari pegas suspensi, maka gerakan *shock absorber* memendek. Siklus kompresi terjadi ketika piston bergerak ke bawah, menekan fluida hidrolik di dalam ruang bawah piston. Minyak *shock absorber* yang berada di bawah piston akan naik ke ruang atas piston melalui lubang yang ada pada piston. Sementara lubang kecil (*orifice*) pada piston tertutup karena katup menutup saluran *orifice* tersebut. Penutupan katup ini disebabkan karena peletakan katup yang berupa membran (plat tipis) dipasangkan di bawah piston, sehingga ketika minyak *shock absorber* berusaha naik ke atas maka katup membran ini akan terdorong oleh *shock absorber* dan akibatnya menutup saluran *orifice*. Jadi minyak *shock absorber* akan menuju ke atas melalui lubang yang besar pada piston, sementara minyak tidak bisa keluar melalui saluran *orifice* pada piston. Pada saat ini *shock absorber* tidak melakukan peredaman terhadap gaya osilasi dari pegas suspensi karena minyak dapat naik ke ruang di atas piston dengan sangat mudah. Siklus kompresi tersebut dapat digambarkan sesuai pada gambar 2.2.



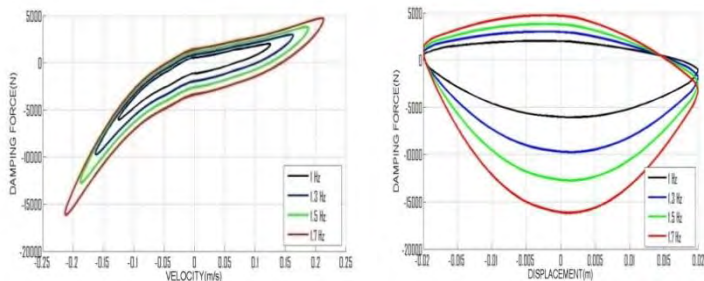
**Gambar 2.2 Siklus kompresi pada *shock absorber***

Pada saat ekspansi, piston di dalam tabung akan bergerak dari bawah naik ke atas. Gerakan naik piston ini membuat minyak *shock absorber* yang sudah berada di atas menjadi tertekan. Minyak *shock absorber* ini akan mencari jalan keluar agar tidak tertekan oleh piston, maka minyak ini akan mendorong katup pada saluran *orifice* untuk membuka dan minyak akan keluar atau turun ke bawah melalui saluran *orifice*. Pada saat ini katup pada lubang besar di piston akan tertutup karena katup ini terletak di atas piston. Minyak *shock absorber* ini akan menekan katup lubang besar, piston ke bawah dan mengakibatkan katup tertutup. Pada saat itu, minyak *shock absorber* hanya dapat turun melalui saluran *orifice* kecil, karena saluran kecil maka minyak *shock absorber* tidak akan bisa cepat turun ke bawah atau terhambat. Di saat itulah *shock absorber* melakukan peredaman terhadap gaya osilasi pegas suspensi. Siklus ekspansi tersebut dapat digambarkan sesuai pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3 Siklus ekspansi pada *shock absorber***

Dari sistem suspensi hidrolis tersebut didapat karakteristik gaya redam baik untuk siklus kompresi maupun ekspansi. Gambar 2.4 menunjukkan bagaimana karakteristik gaya redam dari suspensi hidrolis terhadap perpindahan dan kecepatan.

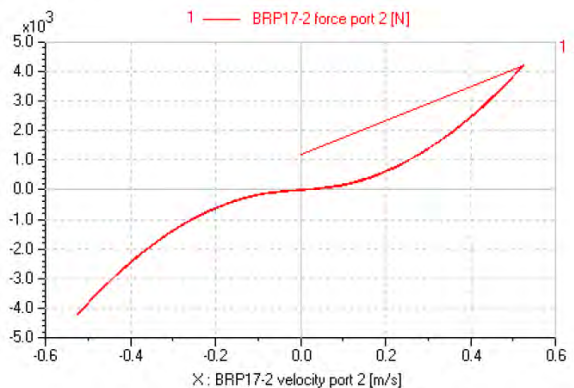


**Gambar 2.4 Grafik karakteristik gaya redam vs kecepatan dan perpindahan**

## 2.2 Sistem Suspensi Regenerative

*Hydraulic Electromagnetic energy-regenerative Shock Absorber (HESA)*<sup>[2]</sup> merupakan salah satu jenis *regenerative*

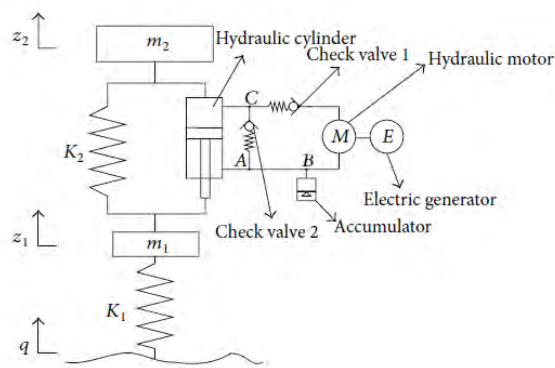
*shock absorber* yang didesain oleh Xiaolin Zi dkk pada tahun 2013. Dalam HESA ini menggabungkan keunggulan dari sistem hidrolik (sebagai transmisi daya) dan sistem elektromagnetik (sebagai penghasil listrik), dan ini membuat HESA memiliki efisiensi energi regeneratif yang tinggi. Pada saat simulasi, penelitian ini menggunakan frekuensi masukan serta beban yang berbeda-beda. Dengan menggunakan kondisi standar (amplitudo sebesar 50 mm dan frekuensi 1.67 Hz), sebuah SUV membutuhkan kompresi atau ekstensi maksimum dari gaya redam sebesar 1450N – 650N. dan sebuah *shock absorber* orignal mempunyai diameter silinder sebesar 32.2 mm, jadi analisa berikut ini telah memenuhi batas tersebut. Untuk diameter silinder dari *shock absorber* sebesar 50 mm dan untuk diameter batang piston sebesar 20 mm. Didapatkan grafik hubungan gaya redam dengan kecepatan pada gambar 2.5. Pada gambar tersebut, HESA dapat menghasilkan gaya redam yang besar dengan kecepatan piston yang kecil. Hal ini dikarenakan akumulator di HESA dapat memainkan peran penyearah yang dapat memperlancar aliran hidrolik, membuat aliran melalui motor dalam keadaan stabil. Selain gaya redam yang besar, HESA dapat menghasilkan daya listrik bangkitan sebesar 1.4 kW.



**Gambar 2.5 Grafik karakteristik gaya redam dari HESA<sup>[2]</sup>**



Untuk pemanfaatan getaran pada kendaraan bermotor saat melewati jalan yang tidak rata, pada tahun 2014, Han Zhang dkk mendesain suspensi menjadi *Hydraulic-Electricity Energy Regenerative Suspension* (HEERS)<sup>[3]</sup>. HEERS ini terdiri dari beberapa komponen penting, yaitu silinder hidraulik, *check valve*, akumulator, motor hidraulik, pipa hidraulik, dan generator seperti pada gambar 2.6.

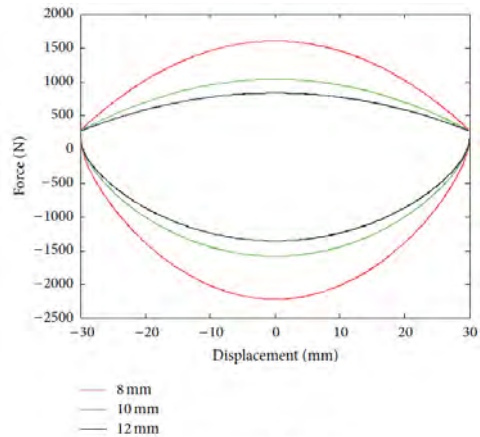


**Gambar 2.6 Skema diagram HEERS. A, B, dan C merupakan simpul dari pipa hidraulik (ditunjukkan dengan titik) <sup>[3]</sup>**

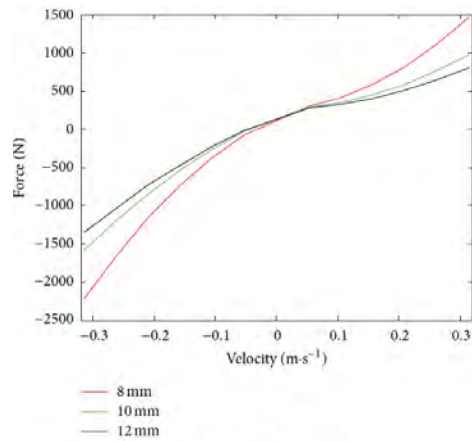
Pada saat kompresi, oli pada silinder peredam mengalir ke atas karena gerakan piston yang menekan silinder. Saat melewati titik C, minyak mengalir ke *check valve* 2 dikarenakan kondisi *check valve* 1 tertutup saat *check valve* 2 pada kondisi terbuka. Melewati titik A, minyak akan mengalir ke bagian dalam silinder, karena tekanan yang lebih tinggi pada pipa oli yang berada pada sisi kanan titik A selama ekspansi, dan tekanan yang lebih rendah pada bagian dalam silinder. Karena kontraksi rongga batang, oli yang terhalang ke silinder dalam dan mengalir melewati akumulator melalui titik B. Selama

ekspansi, oli pada silinder peredam terdorong piston mengalir ke sisi kanan dan melalui titik A, karena *valve* 2 tertutup. Ketika melewati titik B, oli akan mengalir ke dalam motor hidraulik secara berangsu-angsur, karena pengisian akumulator selama kompresi dan generator digerakkan oleh motor hidraulik. Pada akhirnya oli mengalir melalui motor hidraulik kemudian masuk ke bagian atas silinder melewati *valve* 1.

Pada saat simulasi, HEERS dipasangkan pada kendaraan tipe SUV. Berikut grafik yang dihasilkan simulasi HEERS dengan variasi diameter dalam pipa hidrolik.



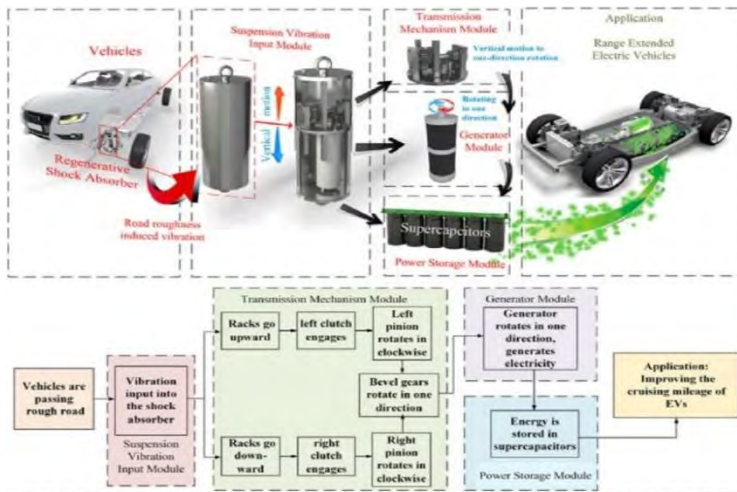
(a) Force-displacement characteristic



(b) Force-velocity characteristic

**Gambar 2.7 Pengaruh perbedaan diameter dalam pipa hidrolik<sup>[1]</sup>**

Zang Zutau pada penelitiannya pada tahun 2016<sup>[3]</sup>, mengemukakan bahwa energi yang dihasilkan dari *Regenerative Shock Absorber* (RSA) mampu untuk memanfaatkan energi yang terbuang yang ada dalam sistem suspensi kendaraan. Dalam penelitiannya shock absorber yang dia buat terdiri dari 4 komponen utama, yakni Modul input getaran suspensi, modul transmisi, modul generator dan modul penyimpanan energi (gambar 2.7). Dalam penelitian tersebut Modul input getaran suspensi digunakan untuk mendapatkan gerak linear naik turun menjadi gerak rotasi yang searah dengan poros input generator. Generator diarahkan ke satu arah untuk menghasilkan energi listrik dan mengkonversikan energi kinetik menjadi energi listrik.



**Gambar 2.8 Skema Hydraulic Regenerative Shock Absorber**

Dalam penelitian ini didapatkan karakteristik damping dari mobil penumpang. Pengukuran dilakukan pada 3 amplitudo

yang bervariasi seperti dalam tabel 2.1. pada tabel tersebut menunjukkan bahwa energi *regenerative* terbesar didapat pada amplitudo 7,5 mm dengan frekuensi getaran 2,5 Hz yakni sebesar 4,302 watt. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar amplitudo dan frekuensi getaran maka energi *regenerative* yang dihasilkan akan semakin besar dan juga variable redaman dapat dihasilkan dengan mengubah beban external sehingga dapat diterapkan pada berbagai jenis kendaraan.

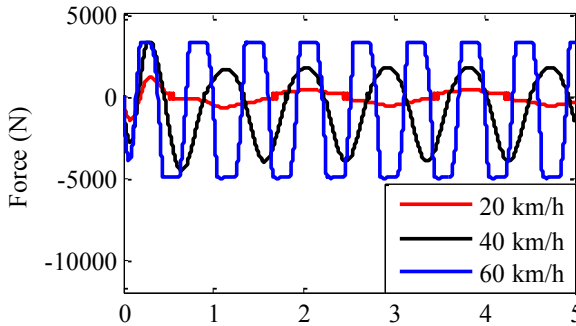
**Tabel 2.1 Daya Energi Bangkitan yang dihasilkan dengan variasi amplitudo dan frekuensi**

	1 Hz (W)	1.5 Hz (W)	2 Hz (W)	2.5 Hz (W)
2.5 mm	0.057	0.147	0.3	0.522
5 mm	0.273	0.555	1.113	1.995
7.5 mm	0.558	1.293	2.31	4.302

Pada tahun 2015, Sawungsari <sup>[4]</sup>, telah mensimulasikan *Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber* (HMRSA). Prinsip kerja dari alat ini adalah memanfaatkan energi kinetik pada gerakan suspensi kendaraan. Energi tersebut ditransfer ke sebuah motor hidrolik. Gaya yang ditransfer dari motor hidrolik kemudian ditransmisikan oleh susunan roda gigi yang berfungsi untuk meningkatkan putaran generator. Putaran generator tersebut akan menghasilkan energi bangkitan. Pada tugas akhir ini, dilakukan simulasi untuk sistem HMRSA dan sistem seperempat kendaraan dengan penambahan HMRSA. Pada saat eksekusi simulasi, digunakan dua macam input, yaitu pertama, input sinusoidal yang akan menghasilkan respon *steady-state*. Kedua, input *bump* yang telah dimodifikasi yang akan menghasilkan respon transien.

Dari kedua input tersebut dihasilkan grafik respon gaya redam yang dapat dilihat pada gambar 2.9 dan 2.10.

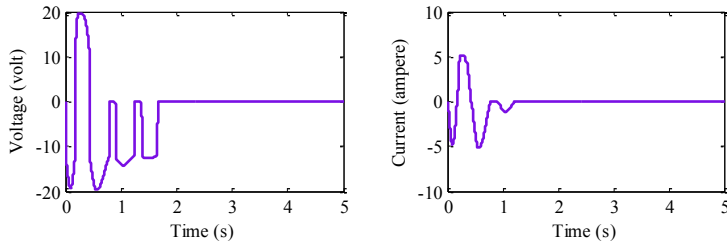
- Input sinusoidal



**Gambar 2.9 Grafik respon gaya redam terhadap waktu dengan variasi kecepatan**

Dari gambar 5.13 dapat dilihat bahwa respon dari grafik tersebut merupakan respon *steady state*. Pada kecepatan 20 km/jam dan 40 km/jam, respon gaya redam mencapai *steady state* setelah 3 detik. Untuk kecepatan 20 km/jam nilai gaya redam maksimum saat ekspansi sebesar 1.760 N dan saat kompresi sebesar 3.985 N. Untuk kecepatan 40 km/jam nilai gaya redam maksimum saat ekspansi sebesar 384 N dan saat kompresi sebesar 576 N. Namun pada kecepatan 60 km/jam, respon gaya redam mencapai *steady state* setelah 2 detik dengan nilai gaya redam maksimum saat ekspansi sebesar 3.253 N dan saat kompresi sebesar 5.012 N.

- Input *bump* yang dimodifikasi



**Gambar 2. 10 Grafik respon voltase dan arus terhadap waktu dengan input *bump modified***

Dari ketiga grafik tersebut respon *transient* yang didapat hampir sama, yaitu mencapai kondisi *steady state* sebelum 2 detik. Pada grafik voltase 5.14 (a), nilai maksimum sebesar 19,6 V. Pada grafik arus 5.14 (b), nilai maksimum sebesar 5,1 A.

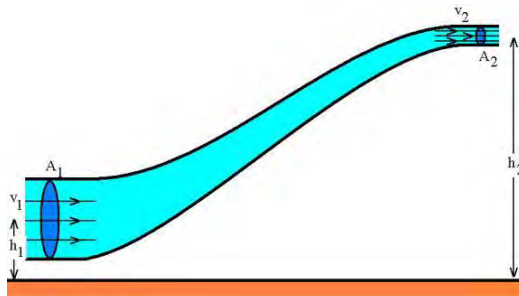
Pengembangan HM RSA yang dilakukan oleh Skryptian<sup>[5]</sup>, dengan melakukan studi tentang pengaruh perubahan tekanan accumulator terhadap karakteristik redaman dan energy listrik. Tekanan accumulator hanya mempengaruhi redaman mekanik, tetapi energy listrik regenerativenya turun, dan semakin besar tekanan accumulator maka semakin besar pula gaya redam yang dihasilkan. Efisiensi tertinggi didapatkan ketika tidak menggunakan accumulator. Hal ini terjadi karena semakin tinggi kecepatan, redaman mekanik seperti inersia, redaman akibat luas penampang silinder dengan check valve, dan head loss pada sistem perpipaan juga semakin meningkat. Sehingga daya listrik yang didapatkan serta daya mekaniknya menjadi semakin menurun. Dalam pengujiannya, dapat diketahui energy regenerative yang dihasilkan yakni pada frekuensi 1.3Hz, 1.5Hz, dan 1.7 Hz berturut-turut adalah 1.017 W, 1.745 W, dan 2.332 W

## 2.3 Persamaan Pada Mekanisme Hidrolik

### 2.3.1 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama. Prinsip ini diambil dari nama ilmuwan Belanda/Swiss yang bernama Daniel Bernoulli.

Dalam bentuknya yang sudah disederhanakan, secara umum terdapat dua bentuk persamaan Bernoulli; yang pertama berlaku untuk aliran tak-termampatkan (incompressible flow), dan yang lain adalah untuk fluida termampatkan (compressible flow). Berikut ini persamaan Bernoulli untuk aliran yang tak termampatkan (incompressible flow):



**Gambar 2. 11 Penerapan hukum Bernoulli pada sebuah pipa**

Persamaan Bernoulli:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2 \quad (2. 1)$$

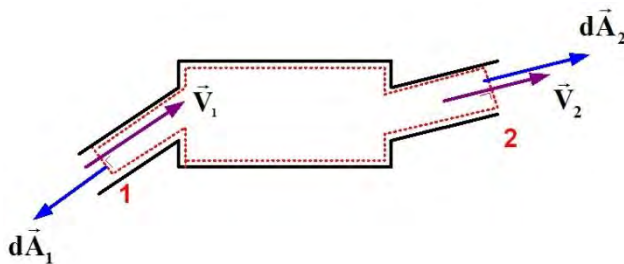
Keterangan:

- $p_1$  : Tekanan fluida pada kondisi 1 ( $\text{N/m}^2$ )
- $p_2$  : Tekanan fluida pada kondisi 2 ( $\text{N/m}^2$ )
- $v_1$  : Kecepatan aliran fluida pada kondisi 1 ( $\text{m/s}$ )
- $v_2$  : Kecepatan aliran fluida pada kondisi 2 ( $\text{m/s}$ )



- $h_1$  : Tinggi pipa kondisi 1 (m)  
 $h_2$  : Tinggi pipa kondisi 2 (m)  
 $g$  : gravitasi bumi ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )

### 2.3.2 Konservasi Massa pada Mekanika Fluida



**Gambar 2. 12 Ilustrasi untuk aliran dalam suatu kontrol volume**

$$\left( \frac{dM}{dt} \right)_{system} = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \rho dV + \int_{CS} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (2.3)$$

karena diasumsikan aliran incompressible,  $\rho = \text{konstan}$ , sehingga:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \rho dV + \rho \int_{CS} \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\rho \int_{CS} \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\int_{CS} \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (2.4)$$

dimana  $\rho$  : massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $V$  : volume fluida ( $\text{m}^3$ )

$\vec{V}$  : kecepatan (m/s)  
 $A$  : luas area (m<sup>2</sup>)

### 2.3.3 Head Loss

Head loss<sup>[6]</sup> merupakan kerugian energi per satuan berat fluida dalam aliran cairan dalam sistem perpipaan. Total head loss merupakan penjumlahan dari major dan minor head loss.

- **Major head loss**, merupakan kerugian energi dikarenakan efek gesekan pada *fully developed flow* di dalam pipa. Rumus untuk *major head loss*<sup>[12]</sup>:

$$h_l = \left( \frac{64}{Re} \right) \frac{L}{2d_{tube}} \dot{x}^2 \quad (2.5)$$

$$\text{dengan } Re = \frac{d_{tube}}{v} \dot{x} = \frac{\rho \dot{x} L}{\mu} \quad (2.6)$$

Substitusi persamaan (2.5) ke persamaan (2.6)

$$h_l = \left( \frac{64v}{d_{tube}\dot{x}} \right) \frac{L}{2d_{tube}} \dot{x}^2$$

sehingga rumus *major head loss* menjadi:

$$h_l = \frac{32Lv}{d_{tube}^2} \dot{x} \quad (2.7)$$

dimana  $h_l$  : *major head loss*  
 $L$  : panjang pipa (m)  
 $d_{tube}$  : diameter pipa (m)  
 $\dot{x}$  : kecepatan aliran (m/s)  
 $Re$  : *Reynold number*  
 $v$  : viskositas kinematik fluida  
 (m<sup>2</sup>/s) (μ/ρ)

Nilai friction factor dipengaruhi oleh nilai Reynold number (Re) (persamaan (2.13)) dan kekasaran permukaan pipa (e). Dari nilai Re dapat ditentukan jenis aliran dari fluida, apabila  $Re < 2300$  aliran digolongkan sebagai aliran laminar, sedangkan apabila  $Re > 2300$  maka aliran digolongkan sebagai aliran turbulen.

- **Minor head loss**, merupakan kerugian energi yang diakibatkan karena pintu masuk, fitting, perubahan luasan, dsb. Rumu untuk *minor head loss*<sup>[12]</sup>:

$$h_{lm} = K \frac{\dot{x}^2}{2} \quad (2.8)$$




dimana  $h_{lm}$  : *minor head loss*  
 $K$  : *loss coefficient*

Berikut ini adalah penjelasan tentang fenomena yang dapat menimbulkan minor head loss:

➤ *Inlets dan Exits*<sup>[6]</sup>

Jika terdapat ujung tajam pada sudut inlet, maka akan terjadi separasi aliran yang menimbulkan *vena contracta*, yang menyebabkan hilangnya *mechanical energy*. Sekalipun sudut pada *inlet* maupun *exit* di buat bulat (*rounded*), tetap terjadi fenomena *vena contracta* yang kecil. Dari tabel 2.2 dapat dilihat besarnya koefisien head loss minor pada beberapa bentuk *inlet/exit*.

**Tabel 2.2 Minor Loss Coefficient untuk pintu masuk pada pipa**

Entrance Type		Minor Loss Coefficient, $K^a$			
Reentrant		0.78			
Square-edged		0.5			
Rounded		$r/D$	0.02	0.06	$\geq 0.15$
		$K$	0.28	0.15	0.04

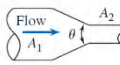
<sup>a</sup>Based on  $h_{lm} = K(\bar{V}^2/2)$ , where  $\bar{V}$  is the mean velocity in the pipe.

➤ *Enlargements dan Contractions*<sup>[6]</sup>

Losses ini terjadi karena adanya perubahan area penampang (membesar ataupun mengecil) secara tiba – tiba.

Losses yang diakibatkan oleh perubahan luas penampang, dapat diantisipasi dengan cara memasang nozzle maupun difusser diantara dua bagian dari pipa lurus yang terjadi luas perubahan penampang . Dari tabel 2.3 dapat ditentukan besarnya sudut dari diffuser maupun nozzle yang dibutuhkan.

**Tabel 2.3 Loss Coefficient untuk kontraksi bertahap: saluran bulat dan persegi panjang**

Included Angle, $\theta$ , Degrees								
	$A_2/A_1$	10	15–40	50–60	90	120	150	180
	0.50	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
	0.25	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
	0.10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43

Note: Coefficients are based on  $h_{Lc} = K(\bar{V}_2^2/2)$ .

➤ *Pipe bend (belokan)*<sup>[6]</sup>

*Head loss* akibat bending (belokan) pada pipa mempunyai nilai yang lebih besar dari pada *head loss* yang terjadi pada aliran *fully developed* pada pipa lurus pada panjang yang sama. Pada gambar 2.12 dan tabel 2.4 dapat ditentukan besar  $L_e/D$  yang digunakan untuk menghitung besarnya *head loss* minor yang terjadi.



## 2.4 Akumulator Hidrolik

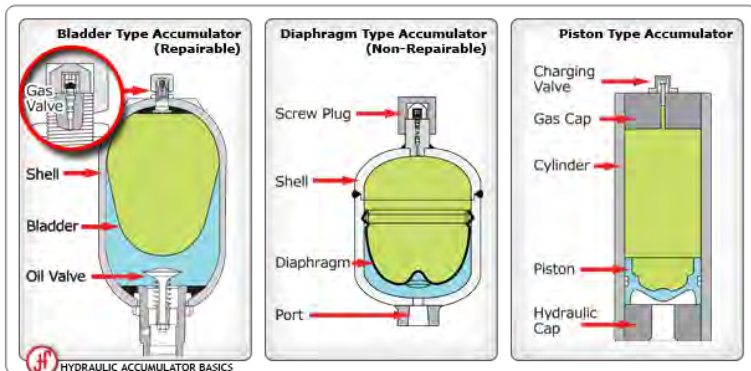
Akumulator hidrolik merupakan salah satu alat peredam kejut (*shock absorber*). Namun, alat ini juga dapat digunakan sebagai penyimpan energi dengan menggunakan gas bertekanan (*compressed gas*). Tipe-tipe pada akumulator:

- *Tower*
- *Raised weight*
- *Compressed gas: bladder, diaphragm, piston, metal bellow*
- *Spring*

**Tabel 2.5 Karakteristik untuk tipe-tipe akumulator<sup>[7]</sup>**

	Diaphragm m accu. welded	Diaphragm m accu. screwed	Bladder accumula tor	Piston accumula tor
Size [l]	0.2 – 4	0.1 – 10	0.2 – 450	0.5 – 2500
Max. pressure [bar]	250 (350)	750	1000	1000
Flow rate [l/s]	< 150	< 150	< 140	< 400
Max pressure ratio	1 : (6...8)	1:10	1:04	1:00
Cost per volume [€/l]	Sangat rendah	Rendah hingga mendekat i rata-rata	Rendah hingga tinggi (tergantung pada ukuran akumulat or)	Rata-rata hingga tinggi
Response characteri stic	Sangat bagus	Sangat bagus	Sangat bagus	Bagus
Cocok untuk	sistem suspensi, denyut redaman ( <i>pulsation damping</i> )	akumulat or dengan ukuran kecil dan sedang dengan tekanan operasi yang tinggi	mengimba ngi puncak daya, tetapi juga denyut redaman dalam sistem volume besar	Rasio tekanan dan laju aliran yang tinggi, misalnya, untuk peralatan crash test

Pada umumnya, sistem hidrolik menggunakan akumulator tipe *compressed gas: diaphragm*. Akumulator diafragma biasanya digunakan dalam suspensi hydropneumatic karena (seperti yang ada pada table 2.5) akumulator tipe ini mempunyai rasio tekanan baik dalam kombinasi dengan yang terbaik biaya / volume ratio, terutama ketika versi dilas digunakan.



**Gambar 2. 14 Compressed Gas Accumulator**

Akumulator dapat digunakan pada beberapa situasi, diantaranya:

- **Emergency and safety:** akumulator terus menerus berada di bawah tekanan saat terjadi kegagalan daya listrik karena dapat memberikan aliran dan tekanan untuk melakukan fungsi tambahan atau menyelesaikan siklus mesin.
- **Shock or pulsation damping:** akumulator dapat digunakan untuk meredam lonjakan tekanan dari ujung *sudden valve*, denyutan dari pompa atau reaksi beban dari *sudden movement*, bagian yang terhubung ke silinder hidrolik.

- **Leakage compensation:** akumulator dapat digunakan untuk dapat digunakan untuk mempertahankan tekanan dan mengganti cairan yang hilang akibat kebocoran internal pada komponen sistem termasuk silinder dan katup.
- **Thermal expansion:** akumulator dapat menyerap perbedaan tekanan yang disebabkan oleh variasi suhu dalam sistem hidrolik tertutup.

Rumus yang digunakan untuk akumulator hydrolik :

- Sebagai *spring*

$$p = p_0 \left[ \frac{V_0}{V_0 - (A_{\text{relatif}})x} \right]^n \quad (2.9)$$

- Sebagai *damper*

$$p = p_0 \quad (2.10)$$

dimana

p	: tekanan pada akumulator
p <sub>0</sub>	: tekanan awal pada akumulator
V <sub>0</sub>	: volume awal pada akumulator
x	: perpindahan dari piston pada silinder

hidrolik

n	: <i>polytrophic gas index</i>
A <sub>relatif</sub>	: luas pada silinder hidrolik

\*saat kompresi (A = luasan ruang rod piston – luasan ruang permukaan piston) dan sebaliknya untuk ekspansi.

## 2.5 Motor Hidrolik

Motor hidrolik adalah sebuah aktuator mekanik yang mengkonversi aliran dan tekanan hidrolik menjadi torsi atau tenaga putaran. Alat ini menjadi satu bagian dari sebuah sistem hidrolik selain silinder hidrolik. Motor hidrolik berkebalikan fungsi dengan pompa hidrolik. Jika pompa hidrolik berfungsi



untuk menghasilkan tekanan dan aliran tertentu pada suatu sistem hidrolik, maka motor hidrolik bertugas mengkonversi kembali tekanan hidrolik menjadi tenaga putar. Motor hidrolik dapat berkerja pada dua arah putaran motor sesuai dengan kebutuhan penggunaan. Rumus yang digunakan untuk motor hidrolik :

$$\omega = \frac{Q_m \eta_v}{q} \quad (2.11)$$

$$T_m = \Delta p_m q \eta_m \quad (2.12)$$

dimana  $\omega$  : kecepatan putaran motor hidrolik (rad/s)

$T_m$  : torsi motor hidrolik (N.m)

$Q_m$  : debit aliran fluida yang masuk ke motor hidrolik (m<sup>3</sup>/s)

$q$  : perpindahan motor hidrolik (cc/rev)

$p_m$  : tekanan pada motor hidrolik (Pa)

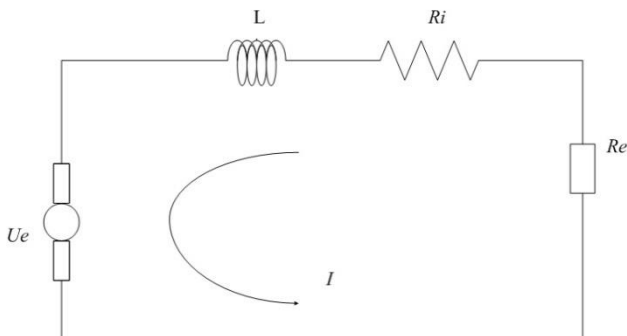
$\eta_v$  : efisiensi volumetrik

$\eta_m$  : efisiensi mekanik

## 2.6 Generator

Generator merupakan alat yang dapat merubah energi mekanik menjadi energi listrik biasanya menggunakan induksi elektromagnetik. Sebagaimana generator listrik bekerja, prinsipnya berkebalikan dengan motor listrik. Berdasarkan arus yang dihasilkan. Generator dapat dibedakan menjadi dua rmacam, yaitu generator AC dan generator DC. Generator AC menghasilkan arus bolak-balik (AC) dan generator DC menghasilkan arus searah (DC).

- Generator AC, bagian utama terdiri atas: magnet permanen (tetap), kumparan /(solenoida), cincin geser, dan sikat. Pada generator, perubahan garis gaya magnet diperoleh dengan cara memutar kumparan di dalam medan magnet permanen. Karena dihubungkan dengan cincin geser, perputaran kumparan menimbulkan GGL induksi AC. Oleh karena itu, arus induksi yang ditimbulkan berupa arus AC.
- Generator DC, terdiri dua bagian, yaitu stator, yaitu bagian mesin DC yang diam/tidak bergerak, dan bagian *rotor*, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor. Prinsip kerja generator DC sama dengan generator AC. Namun, pada generator DC arah arus induksinya tidak berubah. Hal ini disebabkan cincin yang digunakan pada generator DC berupa cincin belah (komutator).



**Gambar 2. 15 Skema RL Circuit untuk Generator**

Persamaan elektrik pada generator dengan menggunakan *Kirchhoff's voltage law*:

$$(R_e + R_i)I + L \frac{dI}{dt} = V_e \quad (2.13)$$

$$\text{dengan, } V_e = 2NBla\dot{\theta} = \alpha\dot{\theta} \quad (2.14)$$

karena induktansi diabaikan, maka persamaan tersebut menjadi:

$$(R_e + R_i)I + L \cancel{\frac{dI}{dt}} = V_e$$

sehingga persamaan menjadi:

$$(R_e + R_i)I = \alpha\dot{\theta}$$

$$I = \frac{\alpha}{(R_e + R_i)}\dot{\theta} = \beta\dot{\theta} \quad (2.15)$$

dimana  $V_e$  : *electromotive voltage* (Volt)

$L$  : induktansi internal (Henries)

$I$  : arus (Ampere)

Rumus torsi elektrik pada generator:

$$T_e = F_e a$$

$$T_e = (NBli)a$$

$$T_e = NBl(\beta\dot{\theta})a$$

$$T_e = NBl\alpha\dot{\theta} = c_{T_e}\dot{\theta} \quad (2.16)$$

dimana  $T_e$  : torsi elektrik (N.m)

$N$  : jumlah lilitan

$B$  : induksi magnetik (Tesla)

$l$  : panjang kumparan (m)

$a$  : jarak kepada kawat (m)

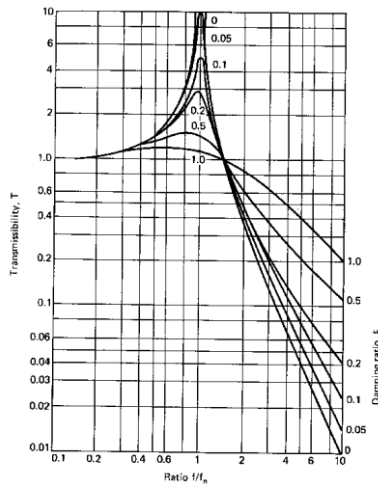
$c_{Te}$  : koefisien torsi elektrik (N.m.s/rad)

## 2.7 Displacement Transmissibility

*Displacement transmissibility* merupakan seberapa besar repon gerakan yang ditransmisikan dari input jalan ke massa kendaraan dengan variasi frekuensi saat berkendara. Dan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$T = \frac{X}{Y} = \frac{\text{input displacement}}{\text{output displacement}}$$

$$T = \frac{X}{Y} = \sqrt{\frac{1+(2\zeta r)^2}{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2}} \quad (2.16)$$



**Gambar 2. 16** Grafik *displacement transmissibility*

Catatan:

1. Nilai  $T$  adalah *unity* saat  $r = 0$  dan mendekati *unity* untuk nilai-nilai kecil  $r$
2. Untuk sistem *undamped* ( $\zeta = 0$ ),  $T \rightarrow \infty$  saat resonansi ( $r = 1$ )
3. Nilai  $T$  lebih kecil dari *unity* ( $T < 1$ ) untuk nilai  $r > \sqrt{2}$  (untuk setiap jumlah redaman  $\zeta$ )
4. Nilai  $T$  *unity* untuk semua nilai  $\zeta$  saat  $r = \sqrt{2}$
5. Untuk  $r < \sqrt{2}$ , semakin kecil *damping ratio* menyebabkan semakin besar nilai  $T$ . Sedangkan  $r > \sqrt{2}$ , semakin kecil *damping ratio* menyebabkan semakin kecil nilai  $T$ .
6. *Displacement transmissibility*,  $T$ , mencapai maksimum untuk  $0 < \zeta < 1$  saat *frequency ratio*  $r = r_m < 1$

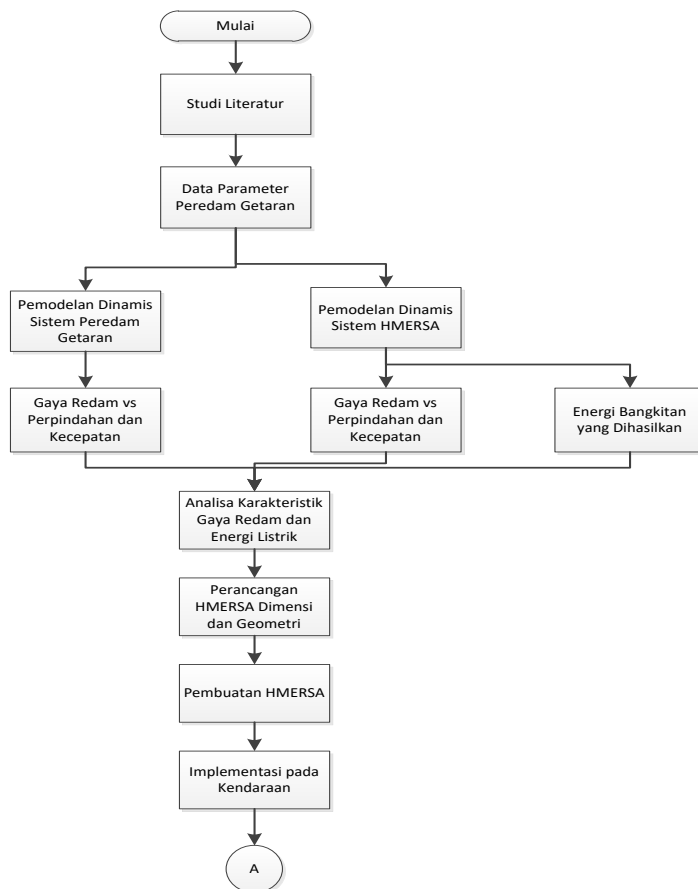
$$r_m = \frac{1}{2\zeta} \left[ \sqrt{1 + 8\zeta^2} - 1 \right]^{1/2}$$

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Pada tugas akhir ini dilakukan beberapa langkah yang ditunjukkan oleh diagram alir pada gambar 3.1.





**Gambar 3.1 Diagram alir penyelesaian tugas akhir**

suspensi HMERSA dengan referensi model dan spesifikasi sistem yang telah ada Metode pelaksanaan tugas akhir ini secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.1, dimulai dari studi literatur mengenai sistem suspensi hidrolik dan sistem suspensi *regenerative* yang telah berkembang saat ini. Langkah selanjutnya yaitu dengan pemodelan dinamis dari sistem suspensi peredam getaran dan sistem sebelumnya. Dari pemodelan dinamis sistem peredam getaran hidrolik dan HMERSA tersebut didapat grafik karakteristik gaya redam terhadap perpindahan dan kecepatan. Pada sistem HMERSA juga didapat energi bangkitan yang dihasilkan. Kemudian, dilakukan analisa mengenai karakteristik gaya redam tersebut dan energi listrik bangkitan. Setelah dilakukan analisa, perancangan serta pengembangan sistem HMERSA dilakukan. Perancangan serta pengembangan *prototype* sistem suspensi HMERSA dilakukan dengan mengacu pada dimensi serta geometri yang telah dilakukan pada pengembangan penelitian sebelumnya. Kemudian pembuatan *prototype* suspensi HMERSA dilakukan dibengkel *shock absorber*. Setelah itu, dilakukan implementasi pada kendaraan. Kendaraan yang

digunakan pada pengujian kali ini adalah Suzuki carry. Pada implementasi akan dilakukan pengujian dengan memvariasikan perindahan dan kecepatan dari kendaraan. Pada pengujian ini juga dilakukan pengambilan data untuk melihat seberapa besar energi listrik yang dapat dihasilkan. Dari pengujian serta pengambilan data tersebut dilakukan analisa dan pembuatan laporan yang tertuang pada tugas akhir ini.

### **3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian**

Pada gambar 3.1 terdapat sembilan proses utama dalam metode pelaksanaan penelitian. Berikut ini adalah penjelasan detail dari diagram alir:

#### **3.2.1 Tahap Studi Literatur**

Dalam penulisan tugas akhir ini diperlukan referensi-referensi yang dapat menunjang dalam proses analisis sistem suspensi hidrolik dan sistem suspensi HMERSA pada kendaraan truk. Adapun, materi dari studi literatur yang mendukung dalam penulisan tugas akhir ini yaitu Persamaan Bernoulli, Koservasi Massa pada Mekanika Fluida, *Head Loss*, Akumulator Hidrolik, Motor Hidrolik, Generator, *Displacement Transmissibility*, Pengaruh Percepatan Kendaraan terhadap Kenyamanan Pengendara, Penelitian Terdahulu dan Referensi sistem suspensi hidrolik dan HMERSA yang telah dikembangkan. Selain, menggunakan teori-teori yang sudah ada. Studi lapangan juga telah dilakukan dengan melakukan penelitian langsung pada suspensi hidrolik konvensional maupun suspensi HMERSA yang telah dikembangkan. Studi lapangan dilakukan untuk melihat skema suspensi hidrolik konvensional dan HMERSA secara detail. Studi lapangan yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah dengan membongkar suspensi hidrolik dan HMERSA yang dapat dilihat pada gambar .



Dari gambar 3.2 tersebut dapat terlihat batang piston, lubang orifice, diameter orifice yang terdapat pada suspensi hidrolis.



**Gambar 3.2 Gambar batang piston dan lubang orifice**

Selain studi literatur yang telah dilakukan pada suspensi hidrolis, studi literatur juga telah dilakukan pada sistem suspensi HMERSA. Studi yang telah dilakukan adalah dengan membandingkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Gambar 3.3 merupakan sistem suspensi HMERSA yang telah dikembangkan pada penelitian-penelitian sebelumnya.



**Gambar 3.3 Sistem suspensi HMERSA yang telah dikembangkan**

### 3.2.2 Data Parameter Peredam Getaran

Nilai parameter didapat dari pengukuran pada sistem suspensi hidrolis yang akan digunakan. Kemudian, referensi pengembangan diambil dari penelitian-penelitian sebelumnya. Adapun, hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya digunakan sebagai pembandingan pada pengembangan kali ini. Penentuan parameter mengacu pada shock absorber bagian belakang dari Suzuki Carry. Berikut merupakan parameter yang digunakan untuk membuat sistem suspensi hidrolis dan HMERSA:

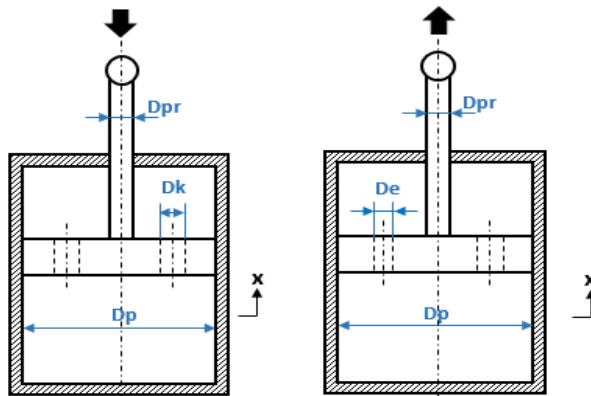
**Tabel 3.1 Parameter Sistem Suspensi Hidrolis dan HMERSA**

Parameter	Nilai
diameter batang piston (d)	33 mm
diameter silinder hidrolik (D)	50 mm
diameter pipa ( $d_{\text{tube}}$ )	2 mm
Diameter check valve	2 mm
massa jenis fluida ( $\rho$ )	860 kg/m <sup>3</sup>
viskositas kinematik fluida ( $\nu$ ) (ISO VG 10)	10 mm <sup>2</sup> /s
panjang pipa (L)	
efisiensi volumetric ( $\eta_v$ )	0.88
efisiensi mekanik ( $\eta_m$ )	0.9
perpindahan motor hidrolik (q)	8.2 cc/rev

diameter gear 1 ( $d_{g1}$ )	115 mm
diameter gear 2 ( $d_{g2}$ )	45 mm
massa gear 1 ( $m_{g1}$ )	342,9 mg
massa gear 2 ( $m_{g2}$ )	58,2 mg

### 3.2.3 Pemodelan Dinamis Sistem Peredam Getaran

Pemodelan dinamis sistem suspensi hidrolis pada kendaraan truk digambarkan pada gambar 3.4. yang dapat dilihat di halaman selanjutnya. Peredam (*absorber*) adalah komponen utama dari sistem pasif. Suspensi hidrolis terdiri dari beberapa komponen yaitu piston, batang piston dan katup yang akan terbuka atau tertutup yang terjadi pada siklus ekspansi maupun kompresi. Sistem ini terdiri dari ruang bawah dan atas dengan luasan tertentu.



**Gambar 3.4 Model Dinamis Sistem Hidrolis**

Keterangan:

$D_{pr}$  : diameter piston rod

$D_k$  : diameter kompresi  
 $D_e$  : diameter ekspansi  
 $D_p$  : diameter piston

Gaya redam yang terjadi pada sistem suspensi hidrolik dipengaruhi oleh energi disipasi dari minyak yang mengalir melalui *orifice*. Minyak tersebut diasumsikan fluida inkompresibel dan  $\Delta P$  menunjukkan perbedaan tekanan antara ruang bawah dan ruang atas piston. Dari hukum konservasi massa, didapat persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_o &= Q_p \\
 \zeta \cdot A_o \cdot v_o &= A_p \cdot v_p \\
 v_o &= \frac{A_p}{\zeta \cdot A_o} v_p
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

dimana:

$A_o$  = Luas area *orifice* ( $m^2$ )  
 $A_p$  = Luas area piston ( $m^2$ )  
 $v_o$  = Kecepatan minyak memasuki *orifice* ( $m/s^2$ )  
 $v_p$  = Kecepatan piston ( $m/s^2$ )  
 $\zeta$  = Koefisien *discharge orifice*

Apabila ditinjau dari persamaan Bernoulli yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_o + \frac{1}{2} \rho v_o^2 + \rho g z_o &= P_p + \frac{1}{2} \rho v_p^2 + \rho g z_p \\
 z_o &= z_p, \text{ sehingga:} \\
 \Delta P &= \frac{1}{2} \rho (v_o^2 - v_p^2)
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

dimana:

$P_o$  = Tekanan minyak memasuki *orifice* ( $N/m^2$ )  
 $P_p$  = Tekanan piston ( $N/m^2$ )  
 $\rho$  = Densitas minyak ( $kg/m^3$ )

Gaya redam sistem suspensi hidrolis ( $F_{dh}$ ) yang terdiri dari siklus kompresi dan ekspansi didapatkan dari substitusi persamaan 3.1 dan 3.2 ke persamaan hukum Pascal:

- Siklus Ekspansi

$$F_{de} = \Delta P \cdot A_e$$

$$F_{de} = \frac{1}{2} \rho \left( \left( \frac{A_p}{A_o} v_p \right)^2 - v_p^2 \right) A_e$$

$$F_{de} = \frac{1}{2} \rho (A_p - A_{pr}) \left( \left( \frac{A_p - A_{pr}}{\zeta \cdot A_{oe}} \right)^2 - 1 \right) (v_p^2) \quad (3.3)$$

- Siklus Kompresi

$$F_{dk} = \Delta P \cdot A_k$$

$$F_{dk} = \frac{1}{2} \rho \left( \left( \frac{A_p}{A_o} v_p \right)^2 - v_p^2 \right) A_k$$

$$F_{dk} = \frac{1}{2} \rho (A_p) \left( \left( \frac{A_p}{\zeta \cdot A_{ok}} \right)^2 - 1 \right) (v_p^2) \quad (3.4)$$

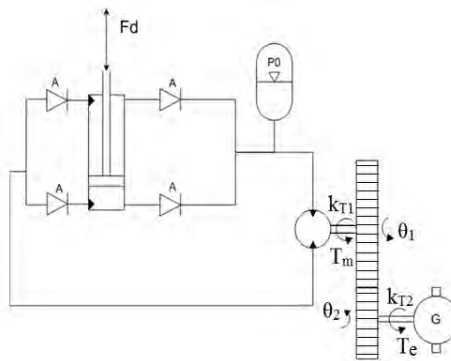
dimana:

$$A_{pr} = \text{Luas piston rod (m}^2\text{)}$$

### 3.2.4 Pemodelan Dinamis Sistem HMERSA

Model sistem suspensi HMERSA merupakan gabungan antara sistem suspensi hidrolis dengan penambahan pipa, motor serta generator. Pergerakan aliran fluida yang terjadi pada sistem suspensi hidrolis akan dialirkan melalui pipa. Pergerakan aliran fluida yang terjadi pada pipa tersebut akan menggerakkan motor hidrolik. Motor hidrolik tersebut dihubungkan pada gear yang akan menggerakkan generator. Sehingga putaran yang terjadi pada generator akan lebih cepat dari putaran pada motor hidrolis.

Untuk dapat menyearahkan putaran dari motor hidrolis perlu dibuat jalur skema dari rangkain hidrolis tersebut dan dalam hal ini menggunakan komponen hidrolis yang dikenal dengan nama *check valve* atau katub searah. Fungsi dari *check valve* ini supaya aliran dapat terhenti dan mengikuti jalur aliran rangkaian yang sudah ditentukan dan dirancang. Gambar 3.5 menunjukkan perancangan disain dari HMERSA yang dikembangkan dari sistem suspensi hidrolis.



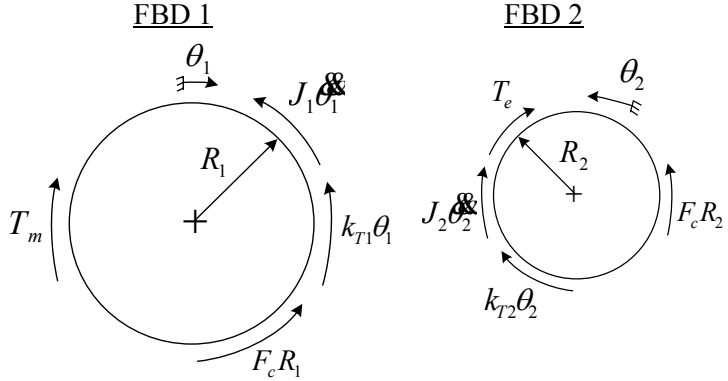
**Gambar 3.5 Model Dinamis sistem HMERSA**

Fluida yang terdapat pada silinder hidrolis diasumsikan sebagai *incompressible fluid* maka debit pada titik 1 (silinder hidrolis) sama dengan debit pada titik 2 (pipa inlet motor hidrolis). Dengan hukum persamaan kontinuitas, hubungan antara kecepatan pipa dan silinder hidrolis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$Q_2 = Q_{tube}$$

$$v_2 A_2 = v_{tube} A_{tube}$$

$$v_{tube} = \frac{A_2}{A_{tube}} \times v_2 \quad (3.5)$$



**Gambar 3.6 FBD untuk pasangan *spur gear***

Dari gambar 3.6 akan didapatkan persamaan matematis dari FBD 1 dan FBD 2, berikut persamaan untuk FBD 1:

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + k_{T1} \theta_1 + F_c R_1 = T_m$$

karena poros sangat *rigid*, sehingga  $k_{T1} \theta_1 \approx 0$

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + F_c R_1 = T_m \quad (3.6)$$

Persamaan untuk FBD 2:

$$J_2 \ddot{\theta}_2 + k_{T2} \theta_2 + T_e = F_c R_2 \quad (3.7)$$

karena poros sangat *rigid*, sehingga  $k_{T2} \theta_2 \approx 0$

$$J_2 \ddot{\theta}_2 + T_e = F_c R_2$$

$$F_c = \frac{1}{R_2} [J_2 \ddot{\theta}_2 + T_e] \quad (3.8)$$

Kemudian substitusi pers. (3.7) ke (3.8)

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + \frac{R_1}{R_2} [J_2 \ddot{\theta}_2 + T_e] = T_m$$

dengan  $N = \frac{R_1}{R_2}$ ,  $\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{R_2}{R_1}$ , dan  $\frac{\ddot{\theta}_1}{\ddot{\theta}_2} = \frac{R_2}{R_1}$ , maka persamaan tersebut menjadi:

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + N[J_2(N\ddot{\theta}_1) + T_e] = T_m$$

substitusi dengan persamaan  $T_m$  yang telah dijelaskan pada persamaan (2.20), sehingga persamaan di atas menjadi:

$$(J_1 + J_2 N^2) \ddot{\theta}_1 + T_e N = \Delta p_m q \eta_m$$

$$\Delta p_m = \frac{1}{q \eta_m} [(J_1 + J_2 N^2) \ddot{\theta}_1 + T_e N] \quad (3.9)$$

dari persamaan (2.9) akan didapatkan:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{Q_m \eta_v}{q} \\ \dot{\omega} &= \frac{\eta_v}{q} \dot{Q}_m = \frac{\eta_v}{q} A \ddot{x} \end{aligned} \quad (3.10)$$

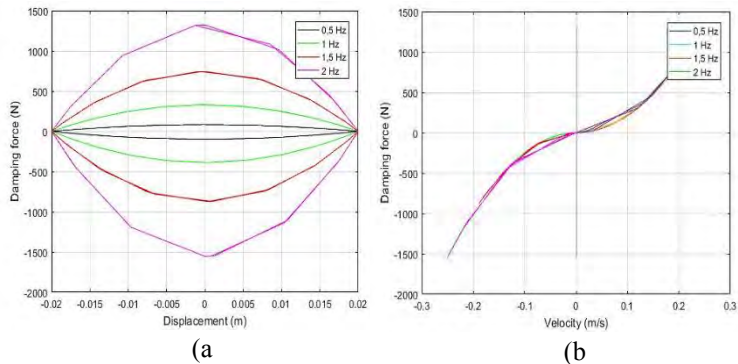
dimana  $\ddot{\theta} = \dot{\omega}$ , dilakukan substitusi dari persamaan (3.9) ke persamaan (3.10):

$$\begin{aligned} \Delta p_m &= \frac{1}{q \eta_m} \left[ \frac{\eta_v}{q} (J_1 + J_2 N^2) \dot{Q}_m + T_e N \right] \\ \Delta p_m &= \frac{1}{q \eta_m} \left[ \frac{\eta_v}{q} A_{\text{relatif}} (J_1 + J_2 N^2) \ddot{x} + T_e N \right] \end{aligned} \quad (3.11)$$

dengan catatan  $A_{\text{relatif}}$  merupakan A saat kondisi ekspansi atau kompresi. Saat kondisi ekspansi, yaitu  $A_1$ , dan untuk kondisi kompresi, yaitu  $A_2$ .



### 3.2.5 Analisa Gaya Redam vs Perpindahan dan Kecepatan pada Sistem Suspensi Hidrolis



**Gambar 3.7 Grafik gaya redam vs perpindahan dan kecepatan pada suspensi hidrolis**

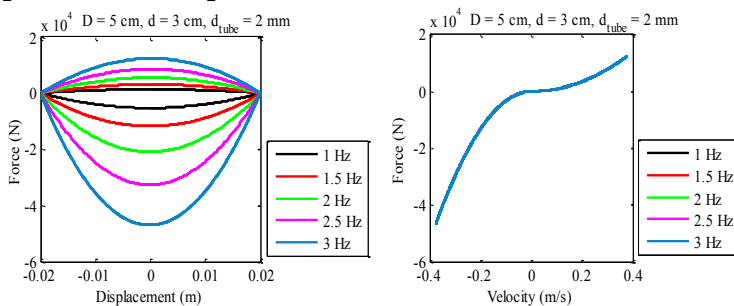
Pada grafik respon gaya redam terhadap perpindahan terlihat jelas bahwa semakin besar frekuensi, maka gaya redam semakin besar. Namun pada grafik respon gaya redam terhadap kecepatan tidak terlihat.

**Tabel 3.2 Nilai gaya redam siklus ekspansi dan kompresi pada sistem suspensi hidrolis**

Frekuensi (Hz)	Gaya Redam (N)	
	Ekspansi	Kompresi
0,5	82,667	97,06
1	330,668	388,335
1,5	744,004	873,537
2	1322,7	1553,3

Dapat diketahui dari tabel 3.1, nilai gaya redam yang dihasilkan dari siklus kompresi lebih besar dibandingkan siklus ekspansi. Pada siklus kompresi, gaya redam yang dihasilkan dipengaruhi oleh besarnya luasan piston yang bekerja pada sistem tersebut. Di sisi lain, gaya redam yang dihasilkan pada siklus ekspansi dipengaruhi oleh besarnya selisih antara luasan piston dengan luasan piston *rod*

### 3.2.6 Analisa Gaya Redam vs Perpindahan dan Kecepatan pada Sistem Suspensi HMERSA



**Gambar 3.8 Grafik gaya redam vs perpindahan dan kecepatan pada suspensi HMERSA**

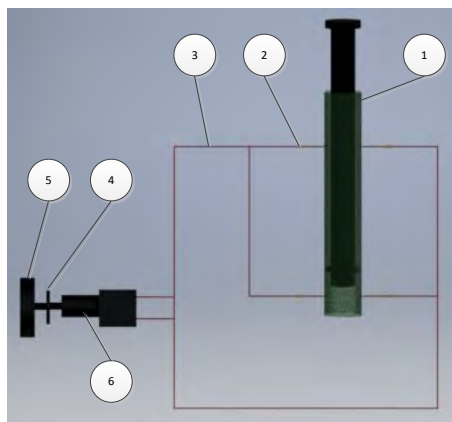
Pada grafik respon gaya redam terhadap perpindahan terlihat jelas bahwa semakin besar frekuensi, maka gaya redam semakin besar. Namun pada grafik respon gaya redam terhadap kecepatan tidak terlihat. Hanya pada frekuensi 3 Hz saja yang terlihat. Hal ini dikarenakan pada frekuensi 1 Hz sampai 2.5 Hz memiliki *trend line* yang sama dengan 3 Hz tetapi hanya berbeda pada nilai gaya redam yang dihasilkan.

Dari gambar 3.8, dapat disimpulkan bahwa semakin besar frekuensi, maka gaya redam yang dihasilkan semakin besar. Hal ini dikarenakan frekuensi berbanding lurus dengan perpindahan maupun kecepatan, kemudian perpindahan

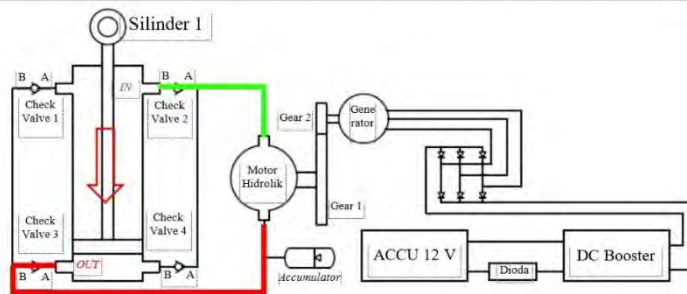
maupun kecepatan juga berbanding lurus dengan gaya redam yang dihasilkan. Pada masing-masing diameter pipa juga dapat dilihat bahwa semakin kecil diameter pipa yang digunakan, maka gaya redam yang dihasilkan semakin besar.

### 3.2.7 Perancangan dan Pembuatan HMERSA

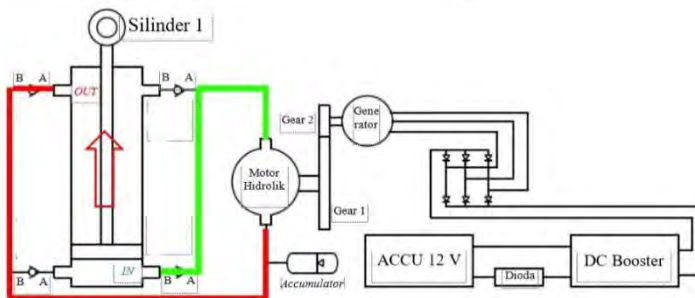
Proses perancangan serta pembuatan sistem HMERSA dibuat berdasarkan sistem suspensi hidrolik konvensional. Sistem hidrolik konvensional yang berupa silinder hidrolik yang ditambahkan komponen-komponen seperti : pipa, check valve motor hidrolik serta generator. Untuk komponen seperti check valve dan pipa dapat dibeli di toko peralatan hidrolik, sedangkan motor hidrolik, oli serta generator telah tersedia di laboratorium. Setelah semua komponen terkumpul komponen tersebut dirakit sesuai dengan gambar 3.8. untuk proses perakitan, perkaitan dilakukan di bengkel yang biasa untuk membuat silinder hidrolik. setelah perakitan selesai dilakukan sistem HMERSA akan diuji coba terlebih dahulu untuk memastikan sistem tersebut dapat bekerja dengan baik.



**Gambar 3.9 Rancangan sistem HMERSA**



**Gambar 3.10 Rancangan Desain HMERSA pada kondisi kompresi**



**Gambar 3.11 Rancangan Desain HMERSA pada kondisi ekspansi**





**Gambar 3.12 Suspensi Hidrolis dan generator yang akan dikembangkan menjadi suspensi HMERSA**

### **3.2.8 Implementasi Pada Kendaraan**

Pada tahap pengujian energi bangkitan HMERSA ini, maka prototype HMERSA yang telah di buat akan diinstal / dipasang pada kendaraan roda 4 yaitu Daihatsu Gran Max. Kemudian akan dilakukan pengujian / eksperimen pengambilan data dengan langsung menguji prototype HMERSA ketika kendaraan berjalan pada medan jalan baik yang lurus maupun yang ada gundukan / polisi tidur pada jalan tersebut dan dengan variasi kecepatan yang berbeda, sehingga akan keluar data berupa besarnya energi bangkitan serta respon dinamis yang dihasilkan oleh prototype HMERSA. Untuk data kendaraan yang digunakan pada eksperimen kali ini dapat dilihat pada tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Data Kendaraan Daihatsu Grand Max**

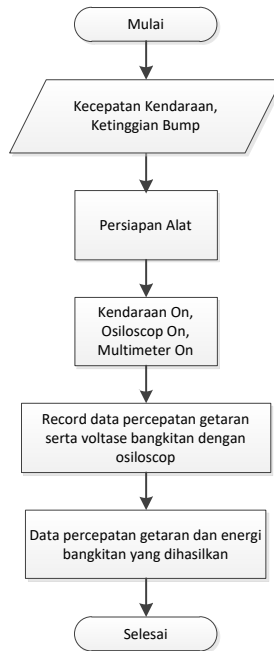
Parameter	Nilai
<i>sprung mass</i> ( $m_v$ )	2250 kg
<i>unsprung mass</i> ( $m_T$ )	200 kg

<i>suspension stiffness</i> ( $k_v$ )	180000 N/m
<i>tire stiffness</i> ( $k_T$ )	500000 N/m
<i>unsprung damping coefficient</i> ( $c_v$ )	5000 N.s/m

Untuk mengetahui energi bangkitan yang dihasilkan oleh HMERSA digunakan alat yaitu Oscilloscope dan juga Avometer. Fungsi dari oscilloscope adalah untuk mengetahui besarnya tegangan yang dihasilkan, sedangkan avometer berfungsi untuk mengetahui nilai dari arus yang dihasilkan. Rumus untuk mencari daya (watt) adalah  $P = V \times I$ , dimana  $V$  adalah tegangan yang dihasilkan HMERSA, dan  $i$  adalah arus yang dihasilkan oleh HMERSA.

### 3.2.9 Pengujian dan Pengambilan Data

Untuk pengujian dan pengambilan data eksperimen perlu dirancang metodologi pengujian atau desain eksperimen. Gambar 3.13 menunjukkan diagram alir dari eksperimen respon percepatan serta energi bangkitan yang dihasilkan pada sistem suspensi HMERSA dengan variasi kecepatan kendaraan serta ketinggian bump.

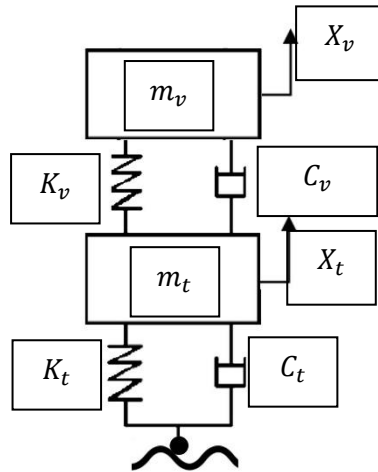


**Gambar 3.13 Diagram alir eksperimen respon percepatan serta energi bangkitan pada sistem HMERSA**

## BAB 4

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemodelan Dinamis Sistem Peredam Getaran pada seperempat kendaraan



**Gambar 4.1 Model Dinamis Sistem Suspensi Hidrolis Pada Seperempat Kendaraan**

Dari pemodelan dinamis pada sistem seperempat kendaraan didapat persamaan matematis untuk sistem tersebut.

- a. Persamaan Matematis dari  $M_v$  adalah sebagai berikut.

$$m_v \ddot{x}_v + Fd_v + Fk_v = 0$$

$$m_v \ddot{x}_v + k_v(x_v - x_t) + C_v(\dot{x}_v - \dot{x}_t) = 0$$



$$m_v \ddot{x}_v = -k_v(x_v - x_t) - C_v(\dot{x}_v - \dot{x}_t) \quad (4.1)$$

b. Persamaan Matematis dari  $M_t$  adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} m_t \ddot{x}_t + Fd_t - Fd_v - Fk_v + Fk_t &= 0 \\ m_t \ddot{x}_t + c_t(\dot{x}_t - \dot{x}_r) - C_v(\dot{x}_v - \dot{x}_t) - k_v(x_v - x_t) \\ &\quad + k_t(x_t - x_r) = 0 \\ m_t \ddot{x}_t &= -c_t(\dot{x}_t - \dot{x}_r) + C_v(\dot{x}_v - \dot{x}_t) + k_v(x_v - x_t) - \\ &\quad k_t(x_t - x_r) \end{aligned} \quad (4.2)$$

Dari persamaan diatas dapat digunakan untuk mencari nilai frekuensi natural pada kendaraan tersebut. Dari persamaan tersebut digunakan matriks untuk mencari nilai frekuensi natural yang digunakan pada sistem tersebut.

$$\begin{bmatrix} M_v & 0 \\ 0 & M_t \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_v \\ \ddot{x}_t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_v & -K_v \\ -K_v & (K_t + K_v) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_v \\ \dot{x}_t \end{Bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} (K_v - M_v\lambda) & -K_v \\ -K_v & (K_t + K_v) - M_t\lambda \end{bmatrix} = 0 \quad (4.3)$$

Dari persamaan matriks diatas didapatkan determinan yang digunakan untuk mendapatkan frekuensi natural kendaraan. Dengan menggunakan parameter kendaraan pada tabel 3.3 maka didapat persamaan sebagai berikut.

$$8.76 \times 10^7 + 156600\lambda + 45\lambda^2 \quad (4.4)$$

Dari persamaan diatas didapat nilai  $\lambda_1$  dan  $\lambda_2$

Sehingga didapat frekuensi natural dari kendaraan sebesar

$$w_{n1} = 52.7225 \text{ rps}$$

$$w_{n2} = 26.46 \text{ rps}$$

Dari frekuensi natural tersebut dapat disimpulkan bahwa respon tertinggi pada kendaraan terjadi pada 52.7225 rps dan 26.46 rps.

#### 4.2 Analisa Gaya Redam vs Perpindahan dan Kecepatan pada Sistem Suspensi Hidrolis

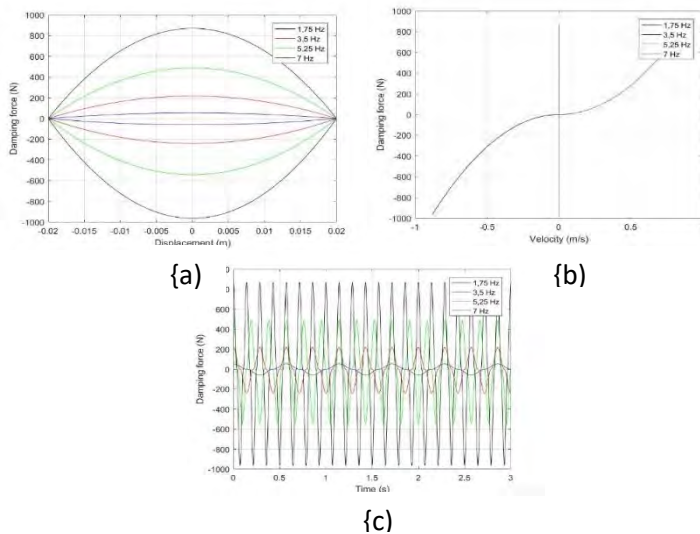
Dari pemodelan diatas didapatkan persamaan respon dinamis dari sistem suspensi hidrolis. Dari pemodelan tersebut kemudian disimulasikan dalam program matlab dengan parameter yang telah disesuaikan dengan suspensi hidrolis digunakan pada tugas akhir ini. Pada sub bab ini didapat grafik gaya redam dari sistem suspensi hidrolis. Perlu diketahui bahwa pada grafik respon gaya redam yang dihasilkan , nilai positif merupakan nilai pada kondisi ekspansi, sedangkan nilai negatif merupakan nilai pada kondisi kompresi.

Sebelum melakukan simulasi sistem suspensi hidrolis, perlu diketahui parameter dari sistem suspensi tersebut. Parameter dan yang digunakan dalam simulasi sistem suspensi hidrolis tertera pada tabel 4.1

**Tabel 4.1 Parameter Sistem Suspensi Hidrolis**

Massa jenis minyak ( $\rho$ )	Diameter orifice ekspansi ( $D_e$ )	Diameter orifice kompresi ( $D_k$ )	Diameter piston ( $D_p$ )	Diameter piston rod ( $D_{pr}$ )	Frekuensi
860 kg/m <sup>3</sup>	8 mm	9 mm	36 mm	15 mm	1.75 Hz
					3.5 Hz
					5.25 Hz
					7 Hz

Dari persamaan gerak dan parameter yang diperoleh dibuat blok diagram yang sesuai dengan persamaan gerak dan parameter dari sistem hidrolis. Dari blok diagram tersebut akan didapatkan grafik respon dari sistem suspensi hidrolis. Pada sub bab ini dilakukan simulasi untuk sistem suspensi hidrolis dengan input sinusoidal. Grafik gaya redam yang dihasilkan pada simulasi pada sub bab ini dapat dilihat dari gambar 4.4.



**Gambar 4.2 Grafik respon perpindahan (a), kecepatan (b) serta waktu (c) terhadap gaya redam pada sistem suspensi hidrolis dengan variasi frekuensi**

Gambar 4.2 menunjukkan grafik respon gaya redam terhadap perpindahan (a), kecepatan (b) dan waktu (c) pada

sistem suspensi hidrolis dengan variasi frekuensi. Variasi frekuensi yang digunakan yaitu 1.75 Hz, 3.5 Hz, 5.25 Hz, dan 7 Hz.

Pada gambar 4.2 tersebut menunjukkan respon gaya redam terhadap perpindahan dan kecepatan waktu. Dapat dilihat bahwa semakin besar frekuensi, maka gaya redam yang dihasilkan semakin besar. Hal ini sesuai dengan teori pada persamaan  $f = \frac{v}{\lambda}$  bahwa frekuensi (f) berbanding lurus dengan kecepatan (v) dan kecepatan ( $\dot{x}$ ) juga berbanding lurus dengan gaya redam ( $F_d$ ) yaitu teori pada persamaan  $F_d = c\dot{x}$ . Namun pada grafik respon gaya redam terhadap kecepatan tidak terlihat perbedaannya antara masing-masing frekuensi. Hal ini dikarenakan pada frekuensi 1.75 Hz sampai 5.25 Hz memiliki trend line yang berhimpit tetapi hanya berbeda pada nilai gaya redam yang dihasilkan. Data nilai gaya redam siklus ekspansi dan kompresi dari sistem suspensi hidrolis terdapat pada tabel 4.2

**Tabel 4.2 Nilai gaya redam siklus ekspansi dan kompresi pada sistem suspensi hidrolis**

Frekuensi (Hz)	Gaya Redam (N)	
	Ekspansi	Kompresi
1.75	-56.607	54.410
3.5	-218.037	217.640
5.25	-490.692	489.692
7	-871.563	870.563

Dari tabel 4.2 diketahui nilai gaya redam yang dihasilkan pada siklus kompresi lebih kecil dibandingkan siklus ekspansi. Pada grafik respon gaya redam terhadap perpindahan terlihat jelas bahwa semakin besar frekuensi, maka gaya redam semakin besar. Namun pada grafik respon gaya redam terhadap

kecepatan tidak terlihat. Pada siklus kompresi, gaya redam yang dihasilkan dipengaruhi oleh besarnya luasan piston ( $A_p$ ) yang bekerja pada sistem tersebut. Di sisi lain, gaya redam yang dihasilkan pada siklus ekspansi dipengaruhi oleh besarnya selisih antara luasan piston dengan luasan piston *rod* ( $A_p - A_{pr}$ ).

#### 4.3 Analisa Gaya Redam vs Perpindahan dan Kecepatan pada Sistem Suspensi HMERSA

Dari pemodelan diatas didapatkan persamaan respon dinamis dari sistem suspensi HMERSA. Dari pemodelan tersebut kemudian disimulasikan dalam program matlab dengan parameter yang telah disesuaikan dengan suspensi HMERSA digunakan pada tugas akhir ini. Pada sub bab ini didapat grafik gaya redam dari sistem suspensi hidrolis. Perlu diketahui bahwa pada grafik respon gaya redam yang dihasilkan , nilai positif merupakan nilai pada kondisi ekspansi, sedangkan nilai negatif merupakan nilai pada kondisi kompresi.

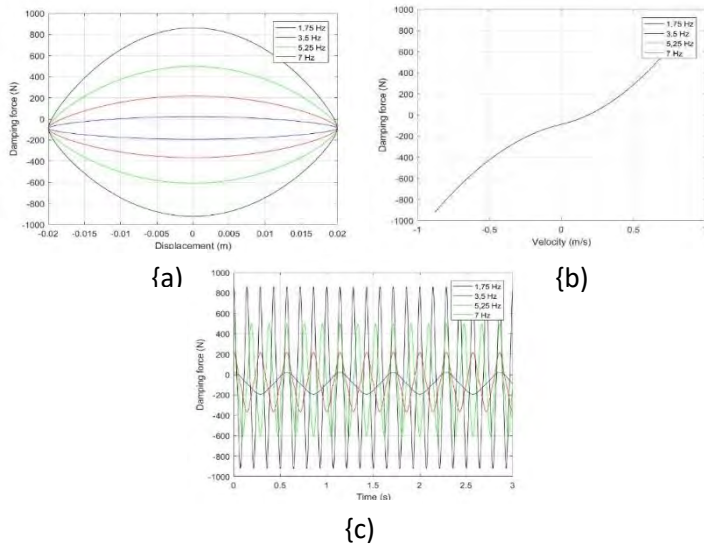
Sebelum melakukan simulasi sistem suspensi hidrolis, perlu diketahui parameter dari sistem suspensi tersebut. Parameter dan yang digunakan dalam simulasi sistem suspensi hidrolis tertera pada tabel 4.3

**Tabel 4.3 Parameter Sistem Suspensi HMERSA**

Parameter	Nilai
diameter batang piston (d)	15 mm
diameter silinder hidrolik (D)	36 mm
diameter pipa ( $d_{tube}$ )	2 mm
Diameter check valve	2 mm
massa jenis fluida ( $\rho$ )	860 kg/m <sup>3</sup>
viskositas kinematik fluida ( $\nu$ ) (ISO VG 10)	10 mm <sup>2</sup> /s
panjang pipa (L)	

efisiensi volumetric ( $\eta_v$ )	0.88
efisiensi mekanik ( $\eta_m$ )	0.9
perpindahan motor hidrolik (q)	8.2 cc/rev
diameter gear 1 ( $d_{g1}$ )	115 mm
diameter gear 2 ( $d_{g2}$ )	45 mm
massa gear 1 ( $m_{g1}$ )	342,9 mg
massa gear 2 ( $m_{g2}$ )	58,2 mg

Dari persamaan gerak dan parameter yang diperoleh dibuat blok diagram yang sesuai dengan persamaan gerak dan parameter dari sistem HMERSA. Dari blok diagram tersebut akan didapatkan grafik respon dari sistem suspensi HMERSA. Pada sub bab ini dilakukan simulasi untuk sistem suspensi hidrolik dengan input sinusoidal. Grafik gaya redam yang dihasilkan pada simulasi pada sub bab ini dapat dilihat pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3. Grafik respon perpindahan (a), kecepatan (b) serta waktu (c) terhadap gaya redam pada sistem suspensi HMERSA dengan variasi frekuensi**

Gambar 4.3 menunjukkan grafik respon gaya redam terhadap perpindahan (a), kecepatan (b) dan waktu (c) pada sistem suspensi hidrolis dengan variasi frekuensi. Variasi frekuensi yang digunakan yaitu 1.75 Hz, 3.5 Hz, 5.25 Hz, dan 7 Hz.

Pada gambar 4.5 tersebut menunjukkan respon gaya redam terhadap perpindahan dan kecepatandan waktu. Dapat dilihat bahwa semakin besar frekuensi, maka gaya redam yang dihasilkan semakin besar. Hal ini sesuai dengan teori pada persamaan  $f = \frac{v}{\lambda}$  bahwa frekuensi (f) berbanding lurus dengan kecepatan (v) dan kecepatan ( $\dot{x}$ ) juga berbanding lurus dengan gaya redam ( $F_d$ ) yaitu teori pada persamaan  $F_d = c\dot{x}$ . Namun pada grafik respon gaya redam terhadap kecepatan tidak terlihat

perbedaannya antara masing-masing frekuensi. Hal ini dikarenakan pada frekuensi 1.75 Hz sampai 5.25 Hz memiliki trend line yang berhimpit tetapi hanya berbeda pada nilai gaya redam yang dihasilkan. Data nilai gaya redam siklus ekspansi dan kompresi dari sistem suspensi hidrolis terdapat pada tabel 4.4

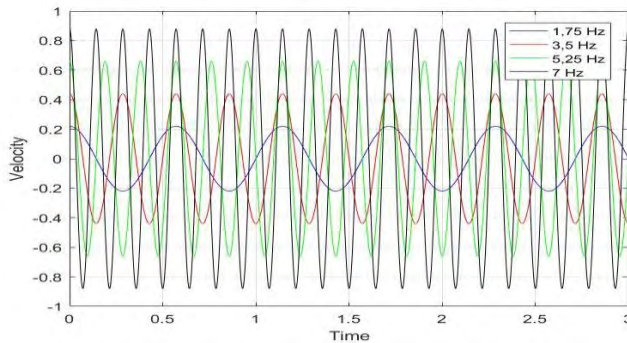
**Tabel 4.4 Nilai gaya redam siklus ekspansi dan kompresi pada sistem suspensi HMERSA**

Frekuensi (Hz)	Gaya Redam (N)	
	Ekspansi	Kompresi
1.75	-23.607	22.607
3.5	-219.037	218.037
5.25	-498.979	497.979
7	-863.433	862.433

Dari tabel 4.4 diketahui nilai gaya redam yang dihasilkan pada siklus kompresi lebih kecil dibandingkan siklus ekspansi. Pada grafik respon gaya redam terhadap perpindahan terlihat jelas bahwa semakin besar frekuensi, maka gaya redam semakin besar. Namun pada grafik respon gaya redam terhadap kecepatan tidak terlihat. Baik pada siklus kompresi maupun ekspansi, gaya redam yang dihasilkan dipengaruhi oleh besarnya luasan piston ( $A_p$ ) atau selisih antara luasan piston *rod* ( $A_p - A_{pr}$ ) yang kemudian dibandingkan dengan luasan selang ( $A_{tube}$ ) yang bekerja pada sistem tersebut.

Selain Gaya redam terhadap perpindahan serta kecepatan, pada simulasi ini juga dapat dilihat respon kecepatan serta percepatan yang terjadi pada sistem suspensi HMERSA.





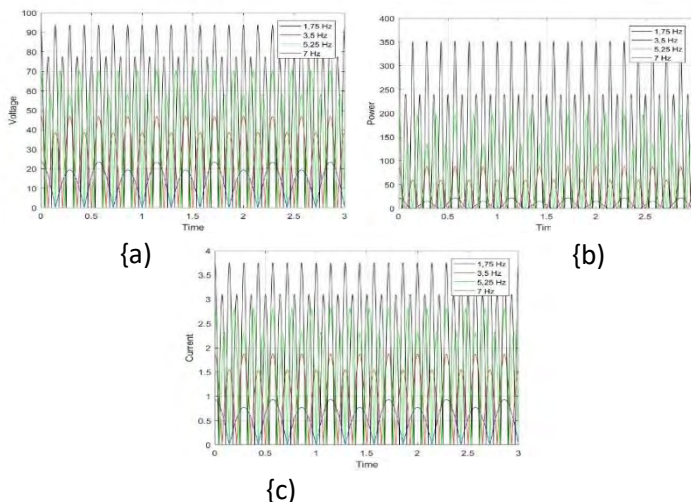
{a)

**Gambar 4.4. Grafik Respon Kecepatan (a) terhadap Waktu pada sistem suspensi HMERSA dengan variasi frekuensi**

Dari gambar 4.4 diketahui nilai respon kecepatan terhadap waktu yang dihasilkan oleh sistem HMERSA. Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pada frekuensi 7 Hz respon kecepatan yang terjadi mencapai nilai maksimum yaitu 0.9 m/s. dari grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin besar frekuensi maka semakin besar juga respon kecepatan yang didapat. Hal ini dikarenakan bahwa frekuensi 7 Hz bukanlah frekuensi natural yang terjadi pada sistem ini. Frekuensi natural yang dihasilkan pada sistem ini adalah 8.3 Hz. Respon kecepatan yang terjadi pada sistem ini akan terus meningkat hingga mencapai frekuensi natural sistem

#### 4.4 Energi Bangkitan Sistem HMERSA

Pada tugas akhir ini sistem HMERSA tidak hanya menghasilkan gaya redam pada kendaraan tetapi juga menghasilkan energi bangkitan yang berupa energi listrik. Dari simulasi pada sistem HMERSA ini juga didapat enrgi bangkitan yang berupa daya. Energy bangkitan yang dihasilkan dari simulasi pada sistem HMERSA dapat dilihat pada gambar 4. 5



**Gambar 4.5. Grafik *Voltase* (a), *Power* (b) serta *Current* (c) terhadap *Time* pada sistem suspensi HMERSA dengan variasi frekuensi**

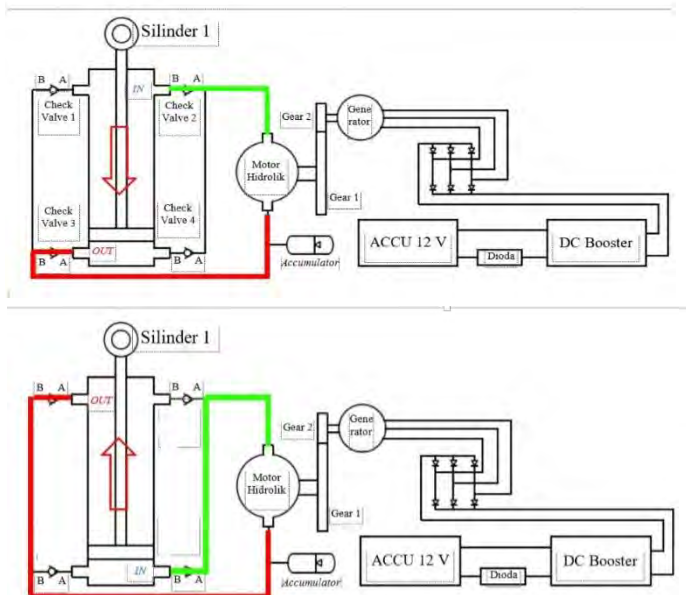
Dapat diketahui dari gambar 4.6, nilai voltase, arus serta daya terbesar dihasilkan pada frekuensi 7 Hz. Pada frekuensi 7 Hz sistem HMERSA mampu menghasilkan voltase sebesar 94.5V, arus sebesar 3.7A dan daya sebesar 350W. Dari ketiga grafik diatas dapat dilihat juga bahwa semakin besar

voltase dan arus yang dihasilkan maka semakin besar pula daya yang dapat dihasilkan dari sistem HMERSA. Hal ini telah sesuai dengan teori yang ada dimana  $P=V \times I$ . Dari rumus tersebut dapat disimpulkan bahwa voltase dan arus berbanding lurus dengan daya sehingga semakin besar voltase atau arus yang dihasilkan maka semakin besar pula daya yang dapat dihasilkan.

Selain itu, nilai energi bangkitan yang dihasilkan berbanding lurus dengan frekuensi yang diberikan. Semakin besar frekuensi yang diberikan semakin besar pula tekanan yang ditimbulkan oleh silinder hidrolis. Hal ini mempengaruhi laju fluida yang terdapat pada silinder hidrolis yang masuk ke dalam pipa yang digunakan untuk memutar motor. Putaran motor yang lebih cepat akan menghasilkan voltase, daya atau arus yang lebih besar pada generator.

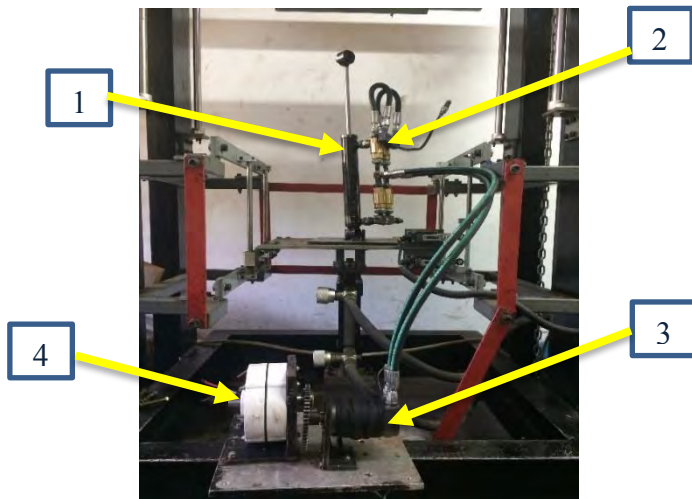
#### **4.5 Perancangan serta Pembuatan HMERSA**

Proses perancangan serta pembuatan sistem HMERSA dibuat berdasarkan sistem suspensi hidrolik konvensional. Sistem hidrolik konvensional yang berupa silinder hidrolik yang ditambahkan komponen-komponen seperti : pipa, check valve motor hidrolik serta generator. Untuk komponen seperti check valve dan pipa dapat dibeli di toko peralatan hidrolik, sedangkan motor hidrolik, oli serta generator telah tersedia di laboratorium. Setelah semua komponen terkumpul komponen tersebut dirakit sesuai dengan gambar 4.7. untuk proses perakitan, perkaitan dilakukan di bengkel yang biasa untuk membuat silinder hidrolik. setelah perakitan selesai dilakukan sistem HMERSA akan diuji coba terlebih dahulu untuk memastikan sistem tersebut dapat bekerja dengan baik.



**Gambar 4.6. Rancangan Sistem HMERSA**

Perancangan tersebut dibuat dengan menggunakan aplikasi inventor. Setelah perancangan dilakukan dilakukan pembuatan sistem HMERSA dengan rancangan yang ada. Hasil pembuatan prototype HMERSA dapat dilihat pada gambar 4. 8



**Gambar 4.7 Prototype HMERSA**

Keterangan:

1. *Shock Absorber*
2. *Check Valve*
3. *Motor*
4. *Generator*

Bagian-bagian sistem utama adalah sebagai berikut:

1. *Shock Absorber* yaitu silinder hidrolis yang terdiri dari piston dan batang piston yang digunakan sebagai peredam. silinder hidrolis telah dimodifikasi dengan cara mematikan lubang *orifice* yang terdapat didalam silinder hidrolis tersebut sehingga fluida yang terdapat didalamnya dapat keluar melalui pipa yang digunakan untuk menggerakan *motor*.

2. *Check valve* berfungsi sebagai pegatur siklus fluida pada selang hidrolis sehingga fluida yang mengalir menuju motor dapat menghasilkan putaran yang searah baik pada siklus kompresi maupun ekspansi
3. *Motor* merupakan sumber gerakan yang digerakan oleh fluida yang terjadi pada selang untuk menghasilkan energi listrik pada generator
4. *Generator* sebagai output energi listrik yang dihasilkan dari sistem HMERSA

#### 4.6 Implementasi Pada Kendaraan

Pada pengujian kali ini prototype HMERSA diimplementasikan pada kendaraan angkut. Kendaraan angkut yang digunakan pada pengujian kali ini adalah Daihatsu Grand Max. setelah prototype dibuat kemudian diimplementasikan pada kendaraan tersebut seperti pada gambar 4.8



**Gambar 4.8 Implementasi Pada Kendaraan**

Prototype dipasang menggantikan shock konvensional. Motor dan generator ditempatkan padaudukan ban cadangan. Setelah dilakukan pemasangan prototype HMERSA diuji dan dilakukan pengambilan data dengan beberapa variasi.

#### 4.7 Pengujian dan Pengambilan Data

Setelah dilakukan pemasangan pada kendaraan angkut kemudian dilakukan pengambilan data dengan menggunakan alat-alat yang dapat dilihat pada gambar 4.10



**Gambar 4.9 Alat Ukur Pengujian**

Keterangan :

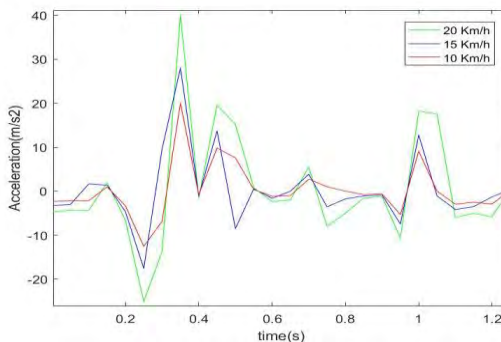
1. Osiloskop
2. Multimeter
3. Probe
4. Inverter

#### 4.8 Analisa Hasil dan Laporan

Setelah dilakukan pengujian pada kendaraan kemudian didapatkan data dari osiloskop. Pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi kecepatan dan variasi *bump*. Dari hasil pengujian tersebut dapat diketahui karakteristik respon sistem dan energi bangkitan yang dihasilkan dari sistem HMERSA.

#### 4.8.1 Respon Percepatan *Unsprung*

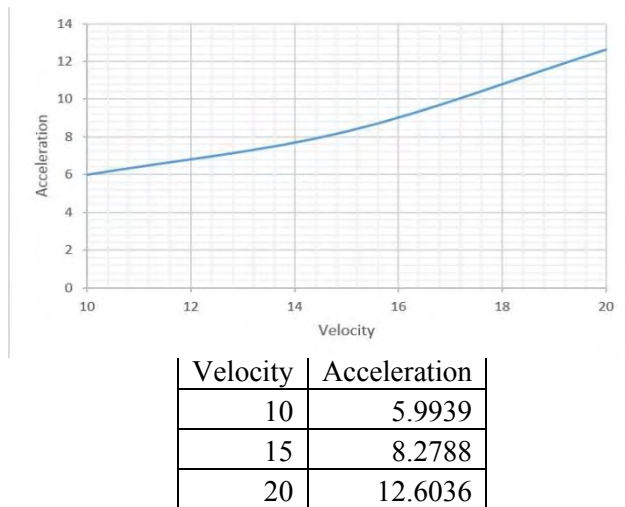
Data dari hasil pengujian yang berupa respon percepatan akan dijabarkan pada subbab ini. Variasi yang dilakukan adalah variasi kecepatan kendaraan. Respon percepatan sistem HMERSA didapatkan dari hasil pengujian dengan variasi kecepatan 20 Km/h, 15 Km/h dan 10 Km/h pada gambar 4.10



**Gambar 4.10 Grafik respon percepatan terhadap waktu pada sistem *unsprung***

Gambar 4.10 diatas adalah grafik hasil eksperimen respon percepatan HMERSA dengan variasi kecepatan 20 Km/h, 15 Km/h dan 10 Km/h. respon percepatan HMERSA pada grafik ini dilakukan pada sistem *unsprung*. Dari grafik tersebut diketahui bahwa semakin besar kecepatan maka respon percepatan yang didapat semakin tinggi. Respon tertinggi pada kecepatan 20 km/h dengan nilai RMS respon yaitu 12.6036 m/s<sup>2</sup>. Grafik serta data RMS hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.11 di bawah.



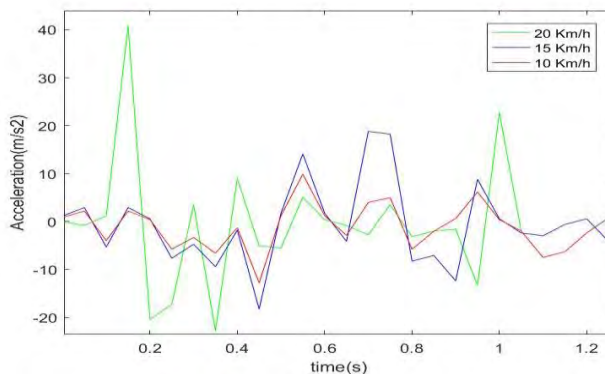


**Gambar 4.11 Grafik serta data RMS respon percepatan HMERSA terhadap waktu pada sistem *unsprung***

Gambar 4.11 diatas adalah grafik hasil eksperimen RMS respon percepatan HMERSA pada sistem tanpa sprung terhadap kecepatan kendaraan. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan, maka respon percepatan sistem utama juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena frekuensi natural yang terdapat pada kendaraan ini terjadi pada frekuensi 8.3 Hz atau pada kecepatan 50 km/jam. sehingga respon percepatan yang didapat terus meningkat. Peningkatan respon percepatan tersebut terjadi karena pada kecepatan tinggi, maka sistem menerima gaya kompresi maupun ekspansi yang lebih besar. Dari grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa dengan nilai maksimum respon pada kecepatan 20km/h.

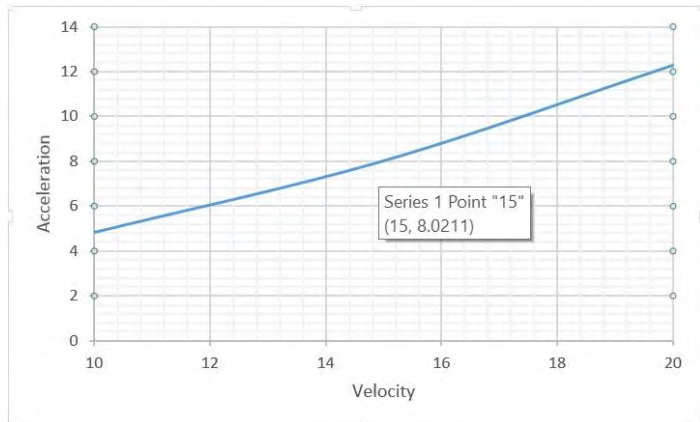
#### 4.8.2 Respon Percepatan HMERSA pada Sistem *sprung*

Respon percepatan HMERSA pada sistem *sprung* didapatkan dari hasil pengujian dengan variasi kecepatan 20 Km/h, 15 Km/h dan 10 Km/h pada gambar 4.12



**Gambar 4.12 Grafik respon percepatan HMERSA terhadap waktu pada sistem *sprung***

Gambar 4.12 diatas adalah grafik hasil eksperimen respon percepatan HMERSA dengan variasi kecepatan 20 Km/h, 15 Km/h dan 10 Km/h. respon percepatan HMERSA pada grafik ini dilakukan pada sistem *sprung*. Dari grafik tersebut diketahui bahwa semakin besar kecepatan maka respon percepatan yang didapat semakin tinggi. Respon tertinggi pada kecepatan 20 km/h dengan nilai RMS respon yaitu 12.2693 m/s<sup>2</sup>. Grafik serta data RMS hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.13 di bawah.



Velocity	Acceleration
10	4.8424
15	8.0211
20	12.2693

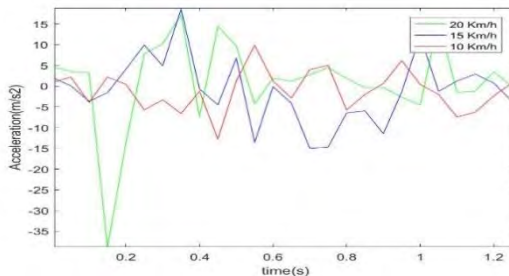
**Gambar 4.13 Grafik serta data RMS respon percepatan HMERSA terhadap waktu pada sistem *unsprung***

Gambar 4.13 diatas adalah grafik hasil eksperimen RMS respon percepatan HMERSA pada sistem tanpa sprung terhadap kecepatan kendaraan. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan, maka respon percepatan sistem utama juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena frekuensi natural yang terdapat pada kendaraan ini terjadi pada frekuensi 8.3 Hz atau pada kecepatan 50 km/jam. sehingga respon percepatan yang didapat terus meningkat. pada sistem sprung ini respon percepatan yang dihasilkan sedikit lebih kecil dibandingkan dengan respon percepatan unsprung. Hal ini dikarenakan pada sistem sprung respon percepatan yang dihasilkan telah mampu diredam oleh pegas yang terdapat pada sistem tersebut. Dari selisih respon

percepatan pada sistem *unsprung* dan *sprung* itulah yang akan digunakan sebagai respon percepatan relative dari sistem HMERSA itu sendiri

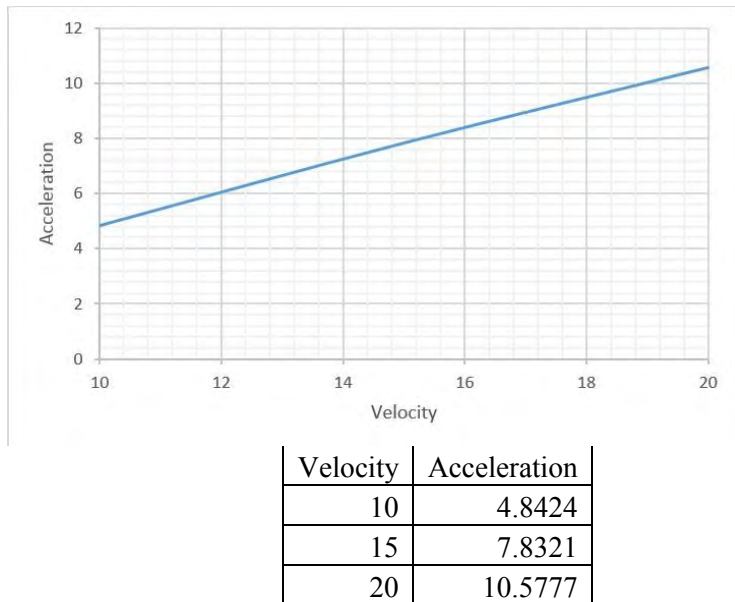
### 4.8.3 Respon Percepatan Relatif HMERSA

Dari kedua data diatas maka didapatkan percepatan relatif antara sistem *sprung* dan sistem *unsprung*. Respon percepatan relatif antara kedua sistem tersebut dapat dilihat pada gambar 4.14.



**Gambar 4.14 Grafik respon percepatan relatif HMERSA terhadap waktu**

Gambar 4.14 diatas adalah grafik hasil eksperimen respon percepatan relatif HMERSA dengan variasi kecepatan 20 Km/h, 15 Km/h dan 10 Km/h. respon percepatan relatif HMERSA pada grafik ini dilakukan dengan mengurangi respon percepatan relatif antara sistem *unsprung* dan sistem *sprung*. Dari grafik tersebut diketahui bahwa semakin besar kecepatan maka respon percepatan yang didapat semakin tinggi. Respon tertinggi pada kecepatan 20 km/h dengan nilai RMS respon yaitu  $10.5777 \text{ m/s}^2$ . Grafik serta data RMS hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.15 di bawah.

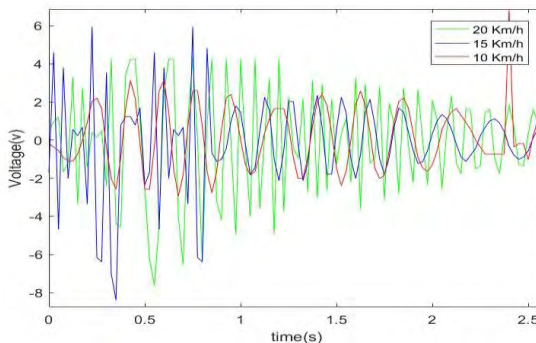


**Gambar 4.15 Grafik serta data RMS respon percepatan relative HMERSA terhadap waktu**

Gambar 4.15 diatas adalah grafik hasil eksperimen RMS respon percepatan relatif HMERSA terhadap kecepatan kendaraan. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan, maka respon percepatan sistem utama juga semakin tinggi sesuai teori. Hal tersebut karena pada kecepatan tinggi, maka sistem menerima gaya kompresi maupun ekspansi yang lebih besar. Dari grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa dengan nilai maksimum respon pada kecepatan 20km/h.

#### 4.8.4 Energi Bangkitan yang dihasilkan sistem HMERSA

Pada pengujian kali ini juga diperoleh data energi bangkitan yang dapat dihasilkan dari sistem HMERSA. Data yang diperoleh merupakan data yang diambil dengan menggunakan alat osiloskop dan multimeter. Dari pengujian ini didapatkan grafik seperti gambar 4.16



**Gambar 4.16 Grafik energi bangkitan yang dihasilkan sistem HMERSA dengan variasi kecepatan**

Gambar 4.16 diatas adalah grafik hasil eksperimen energi bangkitan yang dihasilkan oleh sistem HMERSA. Energi bangkitan yang diperoleh dari sistem HMERSA didapatkan dengan melakukan variasi kecepatan 20 Km/h, 15 Km/h dan 10 Km/h. Dari grafik tersebut diketahui bahwa semakin besar kecepatan maka semakin besar voltase yang dihasilkan oleh sistem HMERSA. Energi bangkitan tertinggi pada kecepatan 20 km/h dengan nilai RMS respon yaitu 2.8778V. Data RMS hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.4 di bawah.

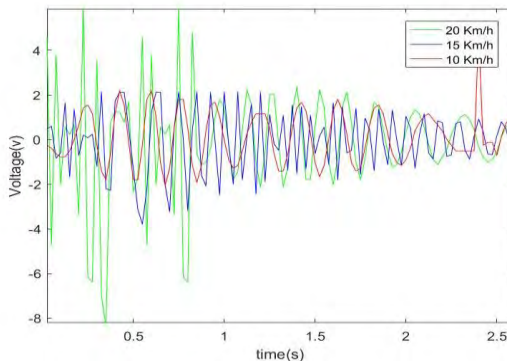
**Tabel 4.5 Data RMS energi bangkitan sistem HMERSA dengan variasi kecepatan**

Velocity	Voltage	Current	Power
10	1.678	1	1.678
15	2.5096	1	2.5096
20	2.878	1	2.878

Dari tabel 4.4 tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan, maka semakin besar pula voltase yang dihasilkan. Untuk arus dihasilkan arus yang sama di setiap variasi kecepatan. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan maka semakin besar juga voltase yang dihasilkan. Semakin besar voltase yang dihasilkan maka semakin besar juga daya yang dihasilkan. Hal ini sudah sesuai dengan teori yang ada. Semakin besar kecepatan kendaraan maka semakin besar juga gaya kompresi maupun ekspansi yang diberikan. Gaya kompresi maupun ekspansi yang semakin besar membuat kecepatan fluida yang terdapat pada sistem HMERSA juga semakin besar. Sehingga, torsi yang ditimbulkan untuk memutar motor semakin besar sehingga didapatkan voltase, daya, serta arus yang lebih besar pada generator. Dari grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa dengan nilai maksimum energi yang dihasilkan pada kecepatan 20km/h.

Dari tabel diatas diketahui bahwa terdapat ketidaksesuaian antara hasil simulasi dan eksperimen pada hasil simulasi. Pada hasil simulasi nilai rms dari voltase pada kec 20km/jam yang dihasilkan sebesar 30.340 V sedangkan dari hasil eksperimen nilai rms dari voltase yang dihasilkan hanya sebesar 2.878 V. dari nilai yang didapat maka terdapat eror yang terdapat antara hasil simulasi dan eksperimen sebesar 90.5 %

Pada pengujian kali ini juga didapatkan data energi bangkitan yang diperoleh dengan memvariasikan ketinggian bump. Pengujian kali ini dilakukan dengan menggunakan variasi bump 7cm, 10cm dan 12 cm. dari pengujian ini didapatkan grafik seperti pada gambar 4.18



**Gambar 4.17 Grafik enegi bangkitan yang dihasilkan sistem HMERSA dengan variasi bump**

Gambar 4.17 diatas adalah grafik hasil eksperimen energi bangkitan yang dihasilkan oleh sistem HMERSA. Dari grafik tersebut diketahui bahwa semakin besar kecepatan maka semakin tinggi input bump maka semakin besar voltase yang dihasilkan oleh sistem HMERSA. Energi bangkitan tertinggi pada input bump 12cm dengan nilai RMS respon yaitu 2.589V. Data RMS hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.5 di bawah.



**Tabel 4.6 Data RMS energi bangkitan sistem HMERSA dengan variasi bump**

Velocity	Voltage	Current	Power
10	1.173	1	1.173
15	1.438	1	1.438
20	2.589	1	2.589

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan, maka semakin besar pula voltase yang dihasilkan. Untuk arus dihasilkan arus yang sama di setiap variasi kecepatan. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan maka semakin besar juga voltase yang dihasilkan. Semakin besar voltase yang dihasilkan maka semakin besar juga daya yang dihasilkan. Hal ini sudah sesuai dengan teori yang ada. Semakin besar kecepatan kendaraan maka semakin besar juga gaya kompresi maupun ekspansi yang diberikan. Gaya kompresi maupun ekspansi yang semakin besar membuat kecepatan fluida yang terdapat pada sistem HMERSA juga semakin besar. Sehingga, torsi yang ditimbulkan untuk memutar motor semakin besar sehingga didapatkan voltase, daya, serta arus yang lebih besar pada generator. Dari grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa dengan nilai maksimum energi yang dihasilkan pada kecepatan 20km/h.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Telah dirancang sistem HMERSA yang terdiri dari *shock absorber*, *check valve*, selang hidrolis, *motor*, *generator* aliran fluida yang terjadi akibat gaya kompresi maupun ekspansi dapat memutar motor dengan arah putaran searah yang dapat menghasilkan energi listrik.
2. Telah diimplementasikan sistem HMERSA pada kendaraan angkut. Kendaraan angkut yang digunakan pada pengujian kali ini adalah Daihatsu Grand Max.
3. Kecepatan kendaraan yang semakin tinggi menyebabkan respon sistem semakin besar pula. Hal ini disebabkan semakin tinggi kecepatan dari suatu kendaraan maka semakin besar juga gaya kompresi maupun ekspansi yang bekerja pada sistem HMRSA.
4. Respon yang terjadi pada sistem sprung lebih kecil dibanding sistem unsprung hal ini disebabkan pada sistem sprung terdapat pegas yang juga dapat meredam getaran yang terjadi.
5. Kecepatan kendaraan mempengaruhi energi bangkitan yang dihasilkan oleh sistem HMERSA. Semakin tinggi kecepatan kendaraan maka semakin tinggi juga energi listrik yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena gaya kompresi maupun ekspansi yang diberikan oleh kendaraan terhadap suspensi hidrolis lebih besar. Sehingga aliran fluida yang terdapat pada silinder hidrolis dapat mengalir lebih cepat. Aliran tersebut menghasilkan torsi

yang lebih besar untuk memutar motor. Semakin besar torsi motor yang diberikan kepada generator maka semakin besar pula energi yang mampu dihasilkan.

6. Ketinggian bump mempengaruhi energi bangkitan yang dihasilkan oleh sistem HMERSA. Semakin besar ketinggian bump maka semakin besar juga pergerakan yang terjadi oleh piston pada silinder hidrolis hal ini membuat gaya kompresi maupun ekspansi yang terjadi dapat lebih maksimal. Hal ini menyebabkan lebih banyak fluida yang mampu dimampatkan dan mengalir kedalam selang hidrolis sehingga mampu menghasilkan torsi yang lebih besar untuk memutar motor. Semakin besar torsi motor yang diberikan kepada generator maka semakin besar pula energi yang mampu dihasilkan.

## 5.2 Saran

Saran yang direkomendasikan dari penelitian yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan validasi terkait alat-alat yang digunakan dalam pengujian seperti Motor dan Generator

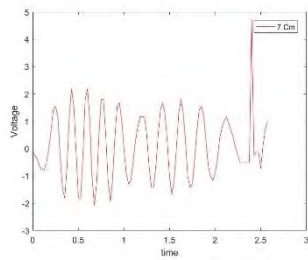
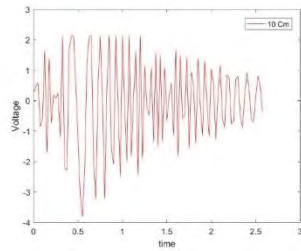
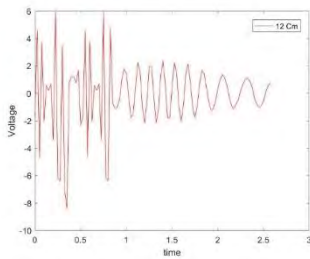
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Where Energy Goes: Gasoline". fueleconomy.gov (the official U.S. government source for fuel economy information),2013.
- [2] Zi Xiaolin, Guo X, Xu L. "Hydraulic Regenerative Shock Absorber".ELSEVIER. 2014
- [3] Zhang,Zutao , Zhan Xingtian, Chen Weiwu, Rasim Yagubov, Salman Waleed, Pan Hongye , Yuan Y, Wang Chunbai. "A high-efficiency energy regenerative shock absorber using supercapacitors for renewable energy applications in range extended electric vehicle".ELSEVIER. 2016
- [4] Farisah, N. sawungsari. "Pemodelan dan Analisis Pengaruh Variasi Tekanan Awal Akumulator Terhadap Gaya Redam, Daya Listrik Bangkitan, dan Respon Dinami Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber (HMRSA)". Surabaya: Teknik Mesin ITS. 2015
- [5] Syuhri, N, H, Skryptian. "Studi Pengaruh Perubahan redaman Mekanik Dan Redaman Elektrik Terhadap Redaman Total dan Daya Listrik Bangkitan Pada Hydraulic Regenerative Suspension". Surabaya: Teknik Mesin ITS.2013
- [6] Fox dan McDonald's. "Introduction to Fluid Mechanics Eighth Edition". Amerika: John Wiley & Sons, Inc.2011
- [7] Bauer, Wolfgang. "Hydropneumatic Suspension Systems". German: Springer.2011
- [8] ] Setiawan, Listy F. "Modeling and Analysis of The Influence of Asymmetrical Damper on The Ride Comfort of The Vehicle". Surabaya: Teknik Mesin ITS. 2014

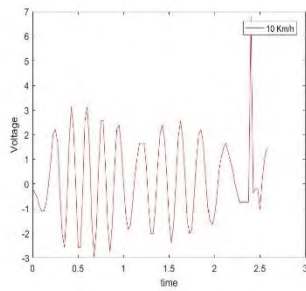
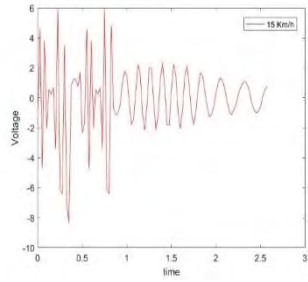
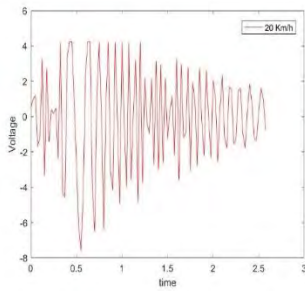
- [9] Santosa, Dikki Tesna, Sumardi, dan Triwiyatno, Aris. “Perancangan Sistem Suspensi Aktif Nonlinear Tipe Paralel dengan Kendali Hybrid Fuzzy PID pada Model SeperempatKendaraan. Semarang:Universitas Dipenogoro. 2012.
- [10] Zessar, Faldy dan Wasiwitono, Unggul. “Desain dan Analisa Sistem Suspensi Kendaraan Multiguna Pedesaan”. Surabaya:Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 2012.

## LAMPIRAN

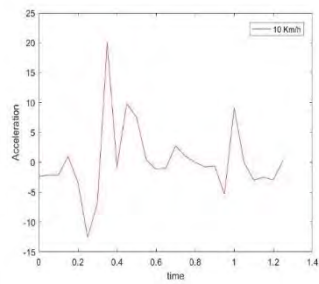
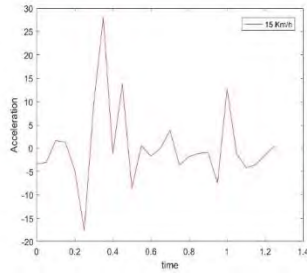
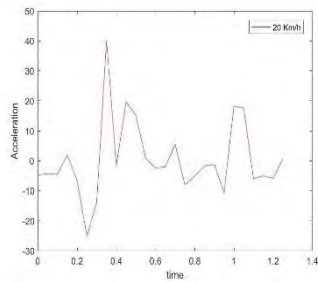
### Grafik Energi Bangkitan dengan variasi Bump



## Grafik Energi Bangkitan dengan variasi Kecepatan

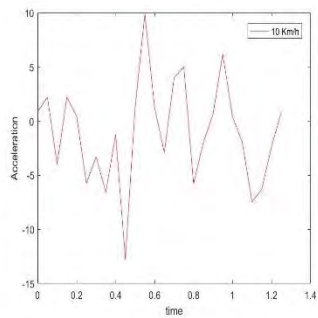
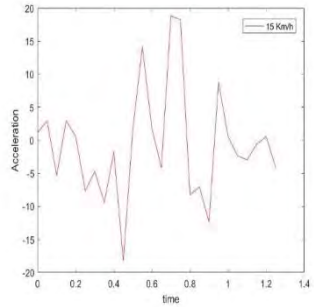
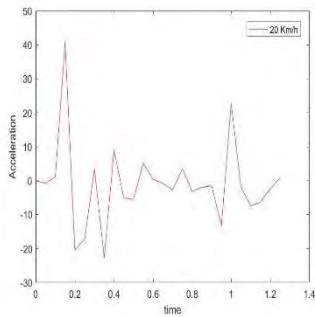


## Grafik Respon Percepatan Unsprung

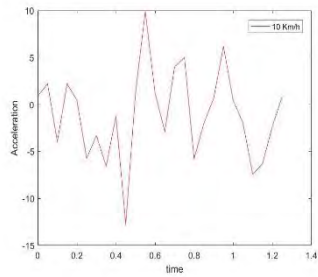
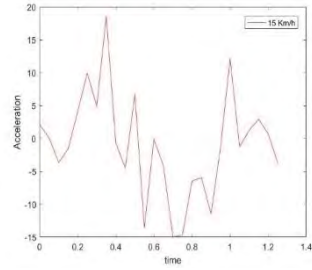
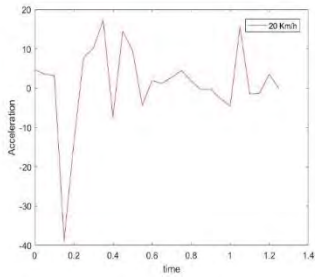




## Grafik Respon Percepatan sprung



## Grafik Respon Percepatan relatif HMERSA



## BIODATA PENULIS



**Faris Abiyyu Abulkhoir** dilahirkan di Jakarta, 10 Agustus 1995 anak yang terlahir dari orangtua terbaik bernama Suyarto dan Suparyati. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDIT AL-Iman Bekasi pada tahun 2001-2007. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN JAKARTA ISLAMIC SCHOOL pada tahun 2007-2010, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMAN 81 Jakarta Timur pada tahun 2010-2013. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SBMPTN.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Penulis juga pernah menjadi asisten Lab Vibrasi. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi staff Eksternal di Mesin Music Club (MMC) pada tahun 2014-2015. Pada tahun 2015-2016 penulis aktif menjadi Kabiro Manajerial MMC, Kadiv Aspirasi Dewan Presidium Mesin dan Kadiv Musik Ikatan Mahasiswa Jakarta Surabaya pada tahun 2016-2017.

Motto hidup penulis adalah “Do Your Best. Focus On Your Dream. Everything Will be Allright.” menjadikan penulis lebih bersemangat dan berusaha keras untuk mencapai sesuatu yang diinginkannya. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email [fariskhoiris@yahoo.com](mailto:fariskhoiris@yahoo.com)

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***